

DESENHAR
ENTRE
FRONTEIRAS

*Aprendizagem, Investigação e Comunicação
pelo Desenho na Universidade*

DRAWING
ACROSS
BORDERS

*Learning, Research and Communication
through Drawing in the University*

DESENHAR ENTRE FRONTEIRAS
*Aprendizagem, Investigação e Comunicação
pelo Desenho na Universidade*

DRAWING ACROSS BORDERS
*Learning, Research and Communication
through Drawing in the University*

Editores / Editors

Mário Bismarck

Paulo Luís Almeida

Sílvia Simões

Vítor Silva

(i2ADS/FBAUP)

Autores / Authors

Cláudia Amandi (i2ADS/FBAUP)

Helena Mena Matos (CMUP/FCUP)

Jorge Marques (i2ADS/FBAUP)

Marina Vale Guedes (i2ADS/FBAUP)

Mário Bismarck (i2ADS/FBAUP)

Paulo Luís Almeida (i2ADS/FBAUP)

Pedro Alegria (i2ADS/FBAUP)

Sílvia Simões (i2ADS/FBAUP)

Vasco Cardoso (i2ADS/FBAUP)

Vítor Silva (i2ADS/FBAUP)

Tradução / Translation

Fernanda Maio / Kevin Rose

Revisão de texto / Text review

Maria Catarina Silva

Paulo Luís Almeida

i2ADS edições

i2ADS – Instituto de Investigação
em Artes, Design e Sociedade
Faculdade de Belas Artes
da Universidade do Porto

i2ADS – Institute of Research
in Art, Design and Society
Faculty of Fine Arts,
University of Porto

i2ads.up.pt

2023

Design editorial / Editorial Design

Joana Lourencinho Carneiro

ISBN

978-989-9049-38-3

Depósito Legal

524879/23

Impressão / Printing

Penagráfica

Tiragem / Print Run

150

Este trabalho é financiado por fundos nacionais através da FCT – Fundação para a Ciência e a Tecnologia, I.P., no âmbito do projeto UIDP/04395/2020 e Drawing Across University Borders (PTDC/ART-OUT/3560/2021).

This work is financed by national funds through the Portuguese funding agency, FCT – Fundação para a Ciência e a Tecnologia, within the project UIDP/04395/2020 and Drawing Across University Borders (PTDC/ART-OUT/3560/2021).

DESENHAR ENTRE FRONTEIRAS

(Eds.)

Mário Bismarck

Paulo Luís Almeida

Sílvia Simões

Vítor Silva

DRAWING ACROSS BORDERS

i2ADS edições

INTRODUÇÃO

9

INTRODUCTION

17

Mário Bismarck, Paulo Luís Almeida,
Sílvia Simões, Vítor Silva

BIOLOGIA, MICROBIOLOGIA, BIOQUÍMICA
/ BIOLOGY, MICROBIOLOGY, BIOCHEMISTRY

*O uso do desenho nas áreas da biologia.
Desenhar para aprender, desenhar para ensinar,
desenhar para investigar, desenhar para comunicar*

33

*The use of drawing in the areas of biology.
Drawing to learn, drawing to teach,
drawing to research, drawing to communicate*

49

Mário Bismarck

MEDICINA / MEDICINE

*Organizar a complexidade.
As anotações gráficas e verbais como recursos
de sintetização e memorização*

81

*Organising complexity.
Graphic and verbal annotations
as synthesising and memorising resources*

97

Cláudia Amandi

*A atual presença do desenho no contexto da medicina:
desenhar para ensinar, estudar e comunicar*

129

*The current presence of drawing in the context of medicine:
drawing to teach, study and communicate*

145

Marina Vale Guedes

DESPORTO / SPORTS

Como fazer desporto com desenhos?

177

How to do sports with drawings?

193

Paulo Luís Almeida

FÍSICA / PHYSICS

Diagramas, esquemas e figuras.

Visualização e representação

de conceitos em física e astronomia

225

Diagrams, schemes and figures.

Visualisation and representation

of concepts in physics and astronomy

241

Jorge Marques

MATEMÁTICA / MATHEMATICS

Desenhar para visualizar

na matemática

273

Drawing to visualise

in mathematics

289

Helena Mena Matos, Vasco Cardoso

ENGENHARIA / ENGINEERING

Desenho, criatividade e comunicação.

A importância do desenho na engenharia

321

Drawing, creativity and communication.

The importance of drawing in engineering

337

Sílvia Simões, Pedro Alegria

ARQUEOLOGIA / ARCHEOLOGY

*Inquirir, provar e reconstituir:
apontamentos sobre
o desenho na arqueologia*

369

*To inquire, to prove
and to reconstitute:
notes on drawing in archaeology*

385

Vasco Cardoso

ARQUITECTURA / ARCHITECTURE

*As práticas de desenho na Faculdade
de Arquitectura da Universidade do Porto:
método, investigação, teoria*

417

*Drawing practices at the Faculty
of Architecture of the University of Porto:
method, research, theory*

433

Vítor Silva

INTRODUÇÃO

Mário Bismarck, Paulo Luís Almeida,
Sílvia Simões, Vítor Silva

“Pensar é especular com imagens”

Giordano Bruno

Este livro é o resultado do trabalho desenvolvido no primeiro ano de um projecto de investigação de artistas, docentes de desenho e investigadoras da Universidade do Porto que, conscientes do papel transversal do desenho como “linguagem”, como instrumento projectual e como meio especulativo de visualizar o que lhes percorre a mente, pretendem estudar os modos e os sentidos de como o desenho (no seu entendimento lato) é usado nas diversas áreas científicas (áreas CTEM) da Universidade do Porto.

Se é cada vez mais inquestionável o papel do uso da imagem nas diversas ciências, e se este assunto tem merecido ultimamente uma atenção crescente por parte da ciência, da filosofia da ciência, dos estudos da imagem e da pedagogia, como poderemos pensar as diversas e diversificadas modalidades dos usos, formas, funções e campos que o desenho (essa categoria ao mesmo tempo particular e transversal da imagem) adquire no seio da Universidade, seja como base para as comunicações entre os pares, seja como “linguagem” direta e eficaz de comunicação pedagógica, seja como instrumento de clarificação do que é complexo e de visualização do que não é visível?

Este plano de investigação levanta e propõe uma série sucessiva e infinita de perguntas iniciais: o desenho existe na Universidade? Usa-se o desenho nas diversas faculdades, departamentos e centros de investigação da Universidade? Que tipologias de desenho são usadas (esquemas, anotações, ilustrações, etc.)? Quem desenha? O que desenharam? Como desenharam? Porque desenharam? Que funções preenche?

Aprende-se melhor desenhando? Quem desenha, que consciência, que conhecimento, que saberes tem do uso do desenho? É o desenho substituível? Como podem artistas-desenhadores hoje participar neste cruzamento de problemas?

São estas interrogações que nos levaram a avançar com o projeto de investigação DRAWinU – Desenhar entre Fronteiras na Universidade: Aprendizagem, Investigação e Comunicação pelo Desenho na Universidade.

Partimos do pressuposto, geralmente aceite, que a prática do desenho estimula e produz circuitos cruzados entre a perceção ativa, a cognição e a criatividade, assumindo um papel constitutivo na produção e comunicação de conhecimento. Nos últimos anos, tem havido um número crescente de investigações baseadas em desenho, focadas em novas abordagens que visam integrar o desenho nos currículos do ensino universitário, enquanto meio para potenciar a literacia geral, para participar na resolução de problemas, nos processos de observação e descoberta, a par da Ciência, Tecnologia, Engenharia e Matemática (CTEM). Contudo, existe ainda um conhecimento superficial sobre o impacto experiencial do desenho no contexto da universidade portuguesa, resultando desta lacuna uma incerteza relativa às abordagens que podem ser mais efetivas para metodologias baseadas na imagem, em particular nos campos da investigação e da pedagogia. Pretende-se, assim, colmatar esta carência promovendo uma análise crítica que reúna as diferentes perspetivas de artistas, investigadoras, professores e estudantes que usam o desenho como instrumento de pesquisa, comunicação e registo, fora das áreas visuais a que está normalmente associado.

DRAWinU pretende realizar um estudo crítico sobre o uso do desenho nas unidades orgânicas, laboratórios e centros de investigação da Universidade do Porto, exteriores ao seu campo de origem, as Belas Artes. A Universidade do Porto proporciona um contexto em que o desenho – na arquitetura e urbanismo, nas engenharias (civil, mecânica, etc.), na biologia e microbiologia, na química e bioquímica, na matemática, mas também na medicina, desporto, arqueologia, geografia e cartografia - pode ser abordado num quadro de referência que reconhece em cada uma destas áreas diferentes especificidades dos seus usos. Assim, ao confrontar as suas diferenças, podemos também compreender as suas dinâmicas comuns.

Neste primeiro ano (2021-2022), cumpre-se a primeira de três etapas do projeto, focando-se a investigação fundamentalmente no levantamento e inventariação dos diferentes desenhos utilizados por diversos departamentos e centros de investigação da Universidade do Porto, desenvolvendo uma documentação contextual feita através de registos visuais e entrevistas gravadas com os seus mais relevantes promotores e praticantes. Entendemos que esta inventariação não pode desligar-se da perceção singular com que docentes, investigadoras e estudantes consideram a sua experiência de desenho, na relação com o conhecimento que produzem e os fenómenos que observam.

Na sequência de um primeiro momento de recolhas produzidas na Universidade do Porto, organizámos a exposição *Ver, Querer Ver, Dar a Ver*, na Casa-Comum da Reitoria da Universidade do Porto, entre julho e setembro de 2021 (catálogo editado pela UP Press) e, posteriormente a exposição *Desenhar entre Fronteiras na Universidade*, no Museu Nacional de Soares dos Reis, de que este livro, não sendo um catálogo, é um registo e um marco das investigações produzidas até ao momento. Todo o material recolhido e todo o material produzido (artigos, entrevistas, workshops, material de apoio, etc.) está disponível no site do projeto (drawinu.fba.up.pt).

No primeiro texto do livro – *O uso do desenho nas áreas da biologia. Desenhar para aprender, desenhar para ensinar, desenhar para investigar, desenhar para comunicar* – Mário Bismarck começa por colocar um enquadramento sobre os usos do desenho nas áreas CTEM, sobre a questão da sua produção por parte dos intervenientes, sobre os mal-entendidos e as resistências que a palavra “desenho” pode provocar. Seguidamente, a partir das recolhas de desenhos, o texto aborda os usos do desenho pelos estudantes nos processos de aprendizagem, seguido dos usos do desenho pelos docentes nos processos de ensino. No campo da investigação são estudadas três recolhas de imagens que assinalam três momentos diversos dos processos de investigação: um primeiro conjunto de apontamentos de observações ao microscópio, num estado ainda inicial e indeterminado de possíveis caminhos de investigação; um segundo, revelando o *work in progress* de afinamento de esquemas gráficos para uma publicação científica, num processo aberto de tentativa e erro; e um último, em que são mostradas ilustrações finais de artigos científicos. Antes das conclusões, há ainda espaço para mostrar, no uso do desenho na comunicação mais gene-

ralista, o exemplo da “Imunologia em *cartoon*”, onde a retórica gráfica e narrativa da banda desenhada e da ilustração é usada para contar a história das “células boas e das células más”.

O segundo texto, de Cláudia Amandi – *Organizar a complexidade. As anotações gráficas e verbais como recursos de sintetização e memorização* – coloca a produção de apontamentos (anotações) como veículo central para a aprendizagem e memorização dos complexos conteúdos de anatomia dos estudantes do curso de Medicina do ICBAS. Os desenhos em questão são reproduções de ilustrações e esquemas dos manuais, estabelecendo com a linguagem escrita, com os sinais gráficos (setas) e com o uso da cor (como marcadores), um sistema coerente de síntese e relevância da informação que o estudante seleciona e ordena para organizar raciocínios e facilitar a sua memorização.

A chave para o pleno funcionamento desta estratégia está claramente em colocar os estudantes como produtores das próprias imagens, de os colocar no ato da sua produção: o processo de estudo é coincidente com o processo do fazer das imagens, no sentido em que a execução de cada desenho implica a clarificação do que se deseja desse desenho. A posição do estudante como produtor, construtor e organizador das suas próprias imagens, coloca-o assim como principal interveniente no processo de pensar a validade das suas imagens. Como se refere no texto, “o uso do desenho oferece imagens com que a mente quer pensar”.

O texto seguinte, da autoria de Marina Vale Guedes – *A atual presença do desenho no contexto da medicina: desenhar para ensinar, estudar e comunicar* – tal como o anterior, foca-se na relação entre o desenho e a medicina. Esta clássica ligação entre o desenho e a medicina parte da necessidade de configurar e documentar as descobertas realizadas sobre o corpo humano. A possibilidade de tornar visível a complexidade e o funcionamento das estruturas anatómicas contribuíram certamente para a disseminação do conhecimento científico. Diante desta valência, o papel da representação visual foi preponderante para o desenvolvimento da medicina, refletindo em termos formais o pensamento e as experiências que se encerram na evolução histórica desta disciplina. À medida que se foi estabelecendo a relação entre o desenho e a medicina, o seu contributo expandiu-se e hoje transcende a capacidade de criar imagens úteis ao entendimento da anatomia, reve-

lando o seu potencial como uma ferramenta de ensino, aprendizagem e comunicação. É na exploração desta vertente operativa multifacetada que se procura analisar a presença atual do desenho no campo da medicina, questionando dentro da Universidade do Porto quais são as representações que fazem parte deste universo e de que forma é que elas contribuem para estimular, construir e ampliar o conhecimento partilhado entre professores, médicos e estudantes.

Em *Como fazer desporto com desenhos?*, Paulo Luís Almeida analisa as atividades de desenho usadas nas ciências do desporto e na metodologia do treino, para compreender e potenciar o movimento do corpo, individual e coletivo. O capítulo estabelece um quadro de referências para a investigação e ensino da prática do desenho em contexto desportivo. Começa por rever a investigação anterior que relaciona desporto, visualização, notação e desenho, sintetizando os principais vetores que a atravessam: a visualização dos dados como meio analítico e narrativo no desporto; a caracterização das qualidades que definem o movimento humano como ato desportivo; o desenho como meio de introspeção sobre os limites do corpo de cada atleta e a influência do contexto social em que atua. Num segundo momento, o estudo analisa o uso do desenho na formulação de conceitos desportivos em publicações científicas da biomecânica e análise da performance. A partir das atividades de desenho observadas no Laboratório de Biomecânica do Porto (LABIOMEPE) e na Faculdade de Desporto da Universidade do Porto (FADEUP), abordam-se de seguida casos concretos destas atividades na interação entre treinadoras e atletas, mas também na criação de modelos visuais na biomecânica, com os quais se formulam novos conhecimentos e pontos de vista sobre o movimento e o seu impacto no corpo de cada atleta.

No quinto texto – *Diagramas, esquemas e figuras. Visualização e representação de conceitos em física e astronomia* – Jorge Marques desenvolve as questões e desafios interpostos às representações gráficas quando chamadas a representar, comunicar ou visualizar hipóteses operativas ou conceitos abstratos para mostrar o que não é observável de outro modo. Por si só, ou em conjugação com as representações verbais ou numéricas, a possibilidade de visualizar a partir de um conceito da Física um desenho, por exemplo, partilha um campo transversal entre arte e ciência, onde o desenho concretiza uma forma de tornar visí-

vel o que pode ser conhecido, e ensaia hipóteses para o que ainda não se conhece. Trata-se, no fundo, de procurar entender, na potência do desenho e das representações gráficas, um dispositivo viável para fazer perguntas, definir problemas, construir explicações, desenhar soluções. As representações gráficas – para além de darem informações visivas, espaciais ou temporais, poderem indicar direções de forças, descreverem uma interação dinâmica – podem ter, um papel fundamental na comunicação e visualização de conceitos. Este propósito corresponde, em grande medida, à necessidade que a ciência, e os cientistas em particular, têm de encontrar um modo de representar e comunicar resultados.

Desenhar para visualizar na matemática, texto de Helena Mena Matos e de Vasco Cardoso, inicia-se com uma abordagem histórica do uso do desenho na área da matemática, discutindo o seu papel na prova matemática desde a Antiguidade Clássica até aos dias de hoje.

Em seguida, é abordado o papel do desenho como concretizador da visualização, analisando as perspetivas das duas áreas: matemática e desenho. É dado destaque à natureza e aos diferentes tipos de visualização matemática, permitindo salientar duas vertentes. Por um lado, o desenho como mobilizador de visualização de dados, no tempo e no espaço, para compreender, interpretar e reconhecer padrões. Por outro lado, o desenho como convocador na exploração de ideias abstratas e promotor de conjeturas. Estas duas faces do desenho na visualização matemática são em seguida aprofundadas e desenvolvidas a partir dos desenhos recolhidos no Departamento de Matemática da Faculdade de Ciências da Universidade do Porto. Partindo dos diversos exemplos considerados, e a terminar, é ainda explorado o papel do desenho como facilitador de processos colaborativos entre artistas e matemáticos.

O sétimo texto – *Desenho, criatividade e comunicação. A importância do desenho na engenharia* – de Sílvia Simões e Pedro Alegria, questiona como o ensino do desenho respondeu, numa sociedade cada vez mais tecnológica e onde a velocidade é galopante, a estes desafios da velocidade, do virtual, em oposição ao tempo de observação, correção e erro implícito no ato de desenhar. Conscientes de que pensar a tecnologia significa também pensar nas questões do nosso tempo, pensar o pensamento como afirma Adrian Mackenzie, os autores sublinham

a urgência em verificar se os modelos de ensino de referência – num contexto em que a tecnologia digital está cada vez mais presente nos meios de comunicação e instrumentos de representação, como meios de formação e comunicação – promovem transformações nos modelos de ensino/aprendizagem, para além de mudanças nos modelos operacionais. Faz ou não sentido continuar a insistir no ensino do desenho? É possível projetar sem saber desenhar? De que desenhos falamos e ensinamos? Estas são perguntas estruturantes que fazem parte do projecto de investigação DRAWinU, e que visam encontrar o diálogo entre o desenho científico e artístico a partir do campo da Engenharia. Também por esta razão, é pertinente saber se, apesar do desenvolvimento digital, continua a ser essencial equipar os estudantes com uma linguagem que lhes permita ver e compreender o universo das imagens, assim como construí-las e comunicá-las.

O texto seguinte, *Inquirir, provar e reconstituir: Apontamentos sobre o desenho na arqueologia*, de Vasco Cardoso, está estruturado e desenvolvido em torno da missão da arqueologia, considerada a partir dos seus trabalhos de investigação, constituição de evidências e de apresentação de provas, tendentes a trabalhos de reconstituição de objetos, ambientes e acontecimentos de épocas passadas: “Inquirir, provar e reconstituir”. O texto procura sublinhar o papel contribuinte do desenho naquele caminho, refletindo e debatendo a adequação das estratégias, funções e meios do desenho para a consecução dos objetivos do trabalho científico da arqueologia. Nessa linha, segue autores que advogam a existência de uma conexão entre os atos da arqueologia e os atos do desenho, na construção do pensamento e do conhecimento no âmbito das duas áreas do saber. O texto discute, ainda, a presença do meio computacional naquele quadro e, portanto, as implicações levadas, especialmente, à abordagem háptica sobre o objeto da arqueologia e ao valor heurístico dos processos envolvidos.

Por último, o texto de Vítor Silva – *As práticas de desenho na Faculdade de Arquitectura da Universidade do Porto: método, investigação, teoria* – aborda a natureza e a complexidade das práticas do desenho na FAUP ao longo das últimas quatro décadas. Procura observar e analisar a interdependência fundamental existente entre desenho e projeto, e desafiar a centralidade da mesma, no sentido de assinalar as distinções epistemológicas, o método e as necessidades que lhe estão intrinse-

camente associadas, e que constituem, substancialmente, a matéria crucial da pedagogia, da doutrina e da sua teoria possível. Desenho e projeto, caracterizam uma vertente da relação prática e metodológica do ensino, que constitui na relação com os seus diversos usos conceituais, gráfico e expressivos, um modelo de problematização e de consciencialização crítica sobre o papel da imaginação dos espaços e da arquitetura. A cultura visual do desenho na FAUP insiste em explorar e ensaiar esta perspetiva complementar, onde se joga, através das representações e figurações gráficas, o primado da observação, da conceção e da síntese comunicativa das ideias. Desde o desenho à mão levantada até ao desenho rigoroso, é todo um universo de relações pragmáticas e argumentativas que se realiza e ganha sentido. Por isso, hoje, perante o confronto das novas tecnologias e modelos computacionais, diante do domínio da “inteligência algorítmica”, a importância do desenho na FAUP, em termos pedagógicos, implica também questionar a sua própria memória e história e, sobretudo, reconsiderar a tensão existente entre o exercício da necessária racionalidade e a desordem da sua liberdade expressiva.

Com estas contribuições, pretendemos abrir novas possibilidades de ensino e investigação, levantar novas questões e visitar outras, e voltar a inspirar outras pessoas a desenharem dentro e além das áreas CTEM da Universidade. No seu conjunto, esta abordagem não é exaustiva nem conclusiva. É um convite a explorar a coleção dos desenhos, a cultivar a atenção diária às atividades de desenho que nos rodeiam na Universidade, mas sobretudo para a reconectar com os nossos processos de investigação, ensino e aprendizagem.

RECONHECIMENTO

A investigação que deu origem a este livro foi possível graças ao financiamento concedido pela Fundação para a Ciência e Tecnologia no âmbito do projeto DRAWinU – Drawing Across University Borders (PTDC/ART-OUT/3560/2021). Os editores e autores agradecem o contributo valioso de Maria Catarina Silva no processo de recolha e catalogação dos desenhos, das entrevistas e apoio à investigação. Este agradecimento estende-se a Patrícia Almeida, pela realização e montagem das entrevistas, a Joana Carneiro pela forma como deu corpo gráfico à publicação, a Flávia Lira pelo apoio editorial, e a Ana Rita Fonseca e Margarida Dias pelo apoio à gestão do projeto.

INTRODUCTION

Mário Bismarck, Paulo Luís Almeida,
Sílvia Simões, Vítor Silva

“To think is to speculate with images.”

Giordano Bruno

This book is the outcome of the work carried out in the first year of a research project led by artists, drawing professors and researchers at the University of Porto. Aware of the transversal role of drawing as “language”, as a design tool and as a speculative means for visualising what runs through the mind, we aim to study the modes and meanings of drawing (in its broadest sense) in the ways it is being used across STEM areas within the University of Porto.

The role of images and their uses across sciences is increasingly unquestionable. As this topic is receiving growing attention from science, philosophy of science, image studies and educational sciences, how can we address the various and diversified modalities of usage, forms, purposes and fields that drawing (as a specific and transversal category of image) acquires within the University, either as a basis for peer communication, a direct and effective “language” of pedagogical interaction, or as the means to clarify what is complex and visualise what is not visible?

This research plan raises and proposes a successive and infinite series of initial questions: does drawing exist at the University of Porto? Is it being used across its faculties, departments and research centres? What drawing typologies are used (schemes, annotations, illustrations, etc.)? Who draws? What do they draw? How do they draw? Why do they draw? Which purposes are addressed? Does one learn better through drawing? What kind of awareness, knowledge or insights does someone who draws have regarding the activity of

drawing? Can drawing be replaced? How can artists who draw participate in the interweaving of these problems?

These questions led us to move forward with the research project DRAWinU – *Drawing across University Borders: Learning, Researching and Communicating through Drawing in University*.

We set out from the generally accepted assumption that drawing practice stimulates and produces shared circuits between active perception, cognition and creativity, thus playing a constitutive role in the production and communication of knowledge. In recent years, there has been a growing number of drawing-based research developing new approaches to integrate drawing within the curriculum of University training to enhance general literacy, assist decision-making, and support observational and discovery processes within Science, Technology, Engineering and Mathematics (STEM). However, knowledge of the experiential impact of drawing in the context of Portuguese university is still superficial. This lack of research has resulted in uncertainty regarding the approaches that may be most effective in the development of image-based methodologies, particularly in the fields of research and training. We intend to fill this gap by promoting a critical analysis that brings together different perspectives by artists, researchers, professors and students who draw as a researching, communication and recording tool outside the visual areas with which drawing is commonly associated.

DRAWinU aims to undertake a critical study on the use of drawing in the faculties, laboratories and research centres of the University of Porto, besides its original place, the Fine Arts. The University of Porto provides a context where drawings – in architecture and urbanism, in civil or mechanical engineering, in biology and microbiology, in chemistry and biochemistry, in mathematics but also in medicine, sports, archaeology, geography and cartography - can be addressed in a framework that recognises their specificities in each of these areas. Thus, by confronting their differences, we can also understand their common dynamics.

During this first year (2021-2022), we accomplished the first of the three stages of the project, focusing our research fundamentally on surveying and cataloguing the different drawing activities used in the diverse departments and research centres of the University of Porto. Contextual documentation of visual data and recorded interviews with some of the most relevant advocates and practitioners were

carried out. We understand that this archive cannot be disconnected from the unique perception through which professors, researchers and students embody their own drawing experiences concerning the knowledge they produce and the observed phenomena.

Following a first collection of drawings made at the University of Porto, we organised the exhibition *Seeing, Wanting to See, Allowing to See*, at Casa-Comum in the Rectory of the University of Porto between July and September 2021, with a catalogue published by UP Press. Afterwards, we exhibited *Drawing Across University Borders*, at the National Museum Soares dos Reis, of which this book, although not a catalogue, provides a record and a milestone of the research carried out so far. All of the materials gathered and produced (articles, interviews, workshops, supporting resources) are available from the project's website (drawinu.fba.up.pt).

In the book's first chapter – *The use of drawing in the fields of biology. Drawing to learn, drawing to teach, drawing to research, drawing to communicate* – Mário Bismarck starts out by establishing a framework around the uses of drawing in STEM areas, regarding the question of its production by those involved, the misunderstandings and resistances that the word “drawing” can trigger. Afterwards, based on the drawings collected, the text addresses the students' uses of drawing in the learning processes, followed by the professors' uses of drawing in their teaching processes. In the field of research, three sets of images highlighting three different phases in the research process are studied: a first set of microscope observation notes in an initial and undetermined phase of various potential research paths; a second set reveals a work in progress of fine-tuning graphic schemes for a scientific publication in an open process of trial and error; and a final example, where the scientific papers' final illustrations are shown. Before the conclusions, there is still room to show “Cartoon Immunology”, an example of the use of drawing in a more generalist communication, in which the graphic and narrative rhetoric of comics and illustration is applied to tell the story of “good cells and bad cells”.

The second chapter, by Cláudia Amandi – *Organising complexity. Graphic and verbal annotations as synthesising and memorising resources* – places “notes” (annotations) as the primary vehicle for learning and memorising the complex contents faced by anatomy students at

the School of Medicine and Biomedical Sciences Abel Salazar. The drawings in question are reproductions of illustrations and schemes from manuals, establishing along the written language, graphic signs (arrows) and the use of colour (like markers), a coherent system for synthesising the relevance of the information selected and organised by students to structure their reasoning and facilitate memorisation. The key to the effective implementation of this strategy is clearly to place students as the producers of their own images, of getting them involved in the act of its production: the process of the study coincides with the process of making images in the sense that each drawing requires the clarification of what is sought within that drawing. The positioning of students as producers, constructors and organisers of their own images, places them as the main participants in thinking about the value of their images. As argued in the text, “drawing provides the images with which the mind wants to think”.

The following chapter – *The current presence of drawing in the context of medicine: drawing to teach, study and communicate* – was written by Marina Guedes. As the preceding one, it is focused on the relationship between drawing and medicine. This classical connection between drawing and medicine stems from the need to configure and document discoveries about the human body. The possibility to render the complexity and functioning of anatomical structures visible contributed to the dissemination of scientific knowledge. Faced with this possibility, visual representation played a predominant role in the development of medicine, reflecting the thinking and experience surrounding this discipline’s historical evolution in formal terms. As the relationship between drawing and medicine evolved, its contribution expanded and today transcends the capacity to create useful images for understanding anatomy, revealing its great potential as a tool for teaching, learning and communication. It is by exploring this multifaceted operative strand that we seek to analyse the current presence of drawing in the field of medicine, questioning within the University of Porto which representations are part of this universe and how they contribute to stimulating, constructing and expanding the knowledge shared by professors, physicians and students.

In *How to do sports with drawings?*, Paulo Luís Almeida analyses drawing activities used in sports sciences and training methodolo-

gies to understand and enhance the movement of the individual and collective body. The chapter establishes a framework for researching and teaching drawing practice in a sports context. It starts by reviewing prior research relating to sport, visualisation, notation and drawing and synthesises its main vectors: data visualisation as an analytical and narrative means in sport; the characterisation of the qualities that define human movements as sport; drawing as a means of introspection on the bodily limits of each athlete and the influence of the social context in which they perform. In a second moment, the study analyses the use of drawing in shaping sports concepts within scientific publications on biomechanics and performance analysis. Based on the drawing activities observed in the Porto Biomechanics Laboratory (LABIOMEPE) and the Faculty of Sport of the University of Porto (FADEUP), particular cases of these activities are addressed in the interaction between coaches and athletes, but also in the creation of visual models in biomechanics, through which new knowledge and insights about movement and its impacts on the each athlete's body are produced.

In the fifth chapter – *Diagrams, schemes and figures. Visualisation and representation of concepts in Physics and Astronomy* – Jorge Marques develops the questions and challenges posed by graphical representations when called upon to represent, communicate or visualise operational hypotheses or abstract concepts to show what is not otherwise observable. In and of itself, or in conjunction with verbal or numeric representations, the possibility of visualising a concept of physics through drawing, for example, shares a transversal field between art and science, where drawing materialises a way of rendering *visible* that which may be known, and tests the hypotheses for what is not yet known. In sum, it is about trying to understand, through the potency of drawing and graphical representations, a viable device for asking questions, defining problems, constructing explanations and designing solutions. Besides conveying visible, spatial or temporal information, pointing the directions of forces, or describing dynamic interactions, graphical representations can play a fundamental role in communicating and visualising concepts. To a large extent, this purpose corresponds to the need that science, and scientists in particular, have to encounter the means of representing and communicating their results.

Drawing to visualise in mathematics, the chapter by Helena Mena Matos and Vasco Cardoso, begins with a historical approach to the usage of drawing in mathematics, discussing its role in mathematical proof from classical antiquity to the present day. It then analyses the role of drawing in achieving visualisation, approaching the shared perspectives between mathematics and drawing. Emphasis is placed on the nature and different types of mathematic visualisation, correspondingly highlighting these two aspects. On the one hand, drawing is perceived as a mobiliser of data visualisation, in time and space, to understand, interpret, and recognise patterns. On the other hand, drawing is a tool for exploring abstract ideas and promoting conjectures. These two facets of drawing in mathematical visualisation are further developed based on the drawings collected from the Department of Mathematics at the Faculty of Sciences of the University of Porto. Finally, based on the various examples considered, the chapter closes with a brief discussion of the role of drawing as a facilitator of collaborative processes between artists and mathematicians.

The seventh chapter – *Drawing, creativity and communications. The importance of drawing in engineering* – by Sílvia Simões and Pedro Alegria, questions whether the teaching of drawing has addressed, in an increasingly technological society where speed is rampant, these challenges of speed, of virtuality, as opposed to the time of observation, correction and error implicit in the act of drawing. Aware that thinking technology also means thinking about the questions of our time, thinking the thought as argued by Adrian Mackenzie, the authors underline the urgency to verify whether the reference teaching models – in a context where digital technology is increasingly present in the channels of communication and tools for representation, as means of education and communication – foster transformations in the teaching/learning models beyond changes to their operating models. Does it make sense to insist on the teaching of drawing? Can we project without knowing how to draw? What kind of drawings are we talking about and teaching? These are structural questions that form part of the DRAWinU research project, aiming to establish a dialogue between scientific and artistic drawing based on the field of Engineering. Also, for this reason, it is pertinent to ascertain whether, despite the digital developments, it continues to be essential to equip students with a language that enables them to see and grasp the universe of images and build and communicate them.

The next chapter, *To inquire, to prove and to reconstitute: notes on drawing in archaeology*, by Vasco Cardoso, are structured and developed around the mission of archaeology, addressed from the perspective of the research work, with the constitution of evidence and presentation of proofs, striving towards the reconstitution of objects, environments and events from past times: “To inquire, to prove and to reconstitute”. Hence, this chapter seeks to highlight the contributing role of drawing on that path, reflecting on and debating the appropriateness of drawing’s strategies, purposes and means for attaining the scientific goals of archaeology.

Within this scope, it follows those authors advocating for a connection between the acts of archaeology and the acts of drawing in constructing thought and knowledge in both fields. Furthermore, it discusses the presence of computational means in this context and especially the implications raised by the haptic approach to the object of archaeology and the heuristic value of the processes involved.

Finally, the chapter by Vítor Silva – *Drawing practices at the Faculty of Architecture of the University of Porto: method, research, theory* – addresses the nature and the complexity of the drawing practices ongoing at FAUP over the last four decades. It seeks to observe and analyse the fundamental interdependence existing between drawing and projecting and challenging the centrality of the latter in the sense of analysing the epistemological distinctions, the methods and the needs that are intrinsically associated and that substantially constitute the crucial matter of pedagogy, of doctrine and any eventual theory. Drawing and projecting characterise one dimension of the practical and methodological relationship of teaching, which establishes a relationship with their diverse conceptual, graphical and expressive applications, a model for problematising and raising critical awareness about the role of the imagination in spaces and architecture. The visual culture of drawing at FAUP insists on exploring and rehearsing this complementary perspective that plays on, through graphical representations and figurations, the primacy of observation, conception, and the communicative summary of ideas. From sketching freely to rigorous drawing, a whole universe of pragmatic and argumentative relationships takes shape and meaning. Thus, today, given the confrontation with new technologies and computational models, facing the domain of “algorithmic intelligence”, the importance of drawing at FAUP, in pedagogical terms, also implies

questioning its own memory and history and, above all, reconsidering the tension existing between exercising the necessary rationality and the disorder of expressive freedom.

Through these contributions, we intend to open up research and learning possibilities, raise new questions and revisit old ones, and reinspire other persons to draw in and beyond STEM areas in the University. Overall, the present volume is neither exhaustive nor conclusive. It is an invitation to explore the collection of drawings, to pay daily attention to drawing activities that surround us at the University, and above all, to reconnect them with our research, teaching and learning processes.

ACKNOWLEDGMENT

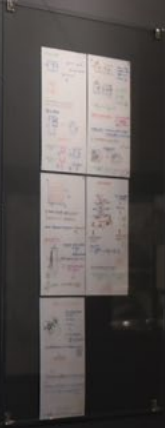
Research for this book was supported by funding from the Foundation of Science and Technology within the project DRAWinU – Drawing Across University Borders (PTDC/ART-OUT/3560/2021). The editors and authors would like to thank Maria Catarina Silva for her valuable contribution to collecting and cataloguing the drawings, the interviews and research support. This acknowledgement also extends to Patrícia Almeida for directing and editing the interviews, Joana Carneiro for her vision regarding the design of the research book, Flávia Lira for the editorial support and Ana Rita Fonseca and Margarida Dias for their support in the project's management.



Vertical text label on the left wall, partially obscured.



Vertical text label on the left wall, partially obscured.



Large, faintly visible text label on the left wall, possibly a title or description.



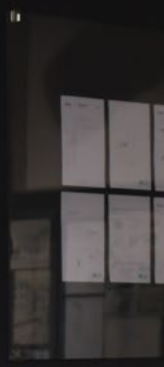
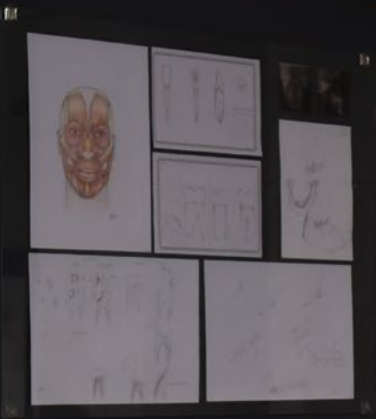
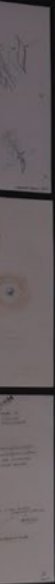
Vertical text label on the right wall, partially obscured.



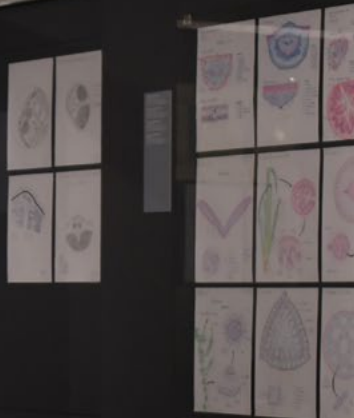
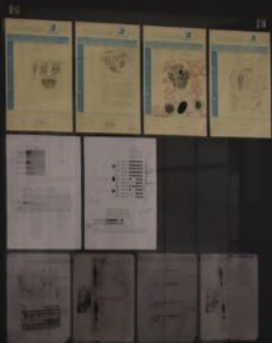












BIOLOGIA, MICROBIOLOGIA, BIOQUÍMICA

*O uso do desenho nas áreas da biologia.
Desenhar para aprender,
desenhar para ensinar, desenhar
para investigar, desenhar para comunicar*

Mário Bismarck

“Se podes olhar, vê. Se podes ver, repara.”

José Saramago

“O conhecimento é comunicado por imagens.”

Matthias Bruhn

“Falamos demasiado. Devíamos falar menos e desenhar mais.

Pela minha parte, gostaria de perder o hábito da conversa e, tal como a natureza, expressar-me totalmente em desenhos.”

Goethe

Introdução

Este texto (e mesmo este projecto de investigação) surge, para nós, desenhadores, da sensação paradoxal de que, apesar de o desenho, nas suas mais variadas formas e tipologias, aparecer nas áreas CTEM como um meio privilegiado de explorar, registar e de comunicar conhecimento, serão poucos os cientistas ou estudantes destas áreas que, conscientemente, constroem, trabalham e criam os seus próprios desenhos. De uma maneira geral podemos dizer que a ciência usa o desenho, essa língua-franca eficaz, democrática e acessível (Petherbridge, 2021), como “consumidora” e muito pouco como “produtora”.

Mas esta sensação é verdadeira? I. e., será que os cientistas, em diversas áreas, não desenham? Não usam registos gráficos, mais ou menos esquemáticos, mais ou menos elaborados para transmitir conhecimento ou mesmo para anotar e estimular as suas investigações? Como nomeiam esses registos? Para que servem? E mais, podem ser substituídos por outro *media*?

A palavra “desenho” está carregada de subentendidos e de conotações de senso-comum que a ligam, por um lado, ao território da Arte, ou melhor da expressão artística e, conseqüentemente ao campo da subjectividade, do emotivo e do sensitivo, e, por outro lado, está associada a uma ideia muito enraizada da necessidade de uma habilidade, de um “jeito”, de uma competência inata e não aprendível. Estes dois sentidos-comuns da palavra são um forte impeditivo e barreira para a disseminação do desenho como prática no campo das ciências. A resistência de quem não desenha para entrar no campo do desenho é ainda amplificada pela ideia comum (mas errada) de que aprender a desenhar é um trabalho moroso e que não compensa o esforço.

Pretendemos mostrar nesta recolha que, na maioria dos exemplos, as competências necessárias são as competências correntes de uma observação orientada e focada, que a própria prática do “desenhar com um lápis na mão” (Valéry, 1938, p. 77) amplifica e desenvolve (Lyons, 2012), e de um conhecimento mínimo de estratégias de representação que estabiliza e se sustenta em protocolos de comunicação assentes e rigorosos; e que, para além deste entendimento do desenho como uma linguagem universal e franca, permite e mesmo estimula uma prática especulativa e projectual, necessária a qualquer criação, seja artística, seja científica. O desenho tem, na prática científica, ainda a capacidade de estimular competências processuais geradoras de hipóteses, de projectar experiências, de visualizar e interpretar dados e de comunicar os resultados obtidos (Quillin & Thomas, 2015).

Mas, o que é o desenho? Evidentemente não há uma possibilidade de o definir e de, deste modo, encerrar a discussão sobre o que é desenho. Não há consenso nem se espera que haja. No entanto, tem havido recentemente (nos últimos 20, 30 anos) um exponencial aumento de investigação sobre as capacidades de o desenho desenvolver competências cognitivas e especulativas, nomeadamente no seu uso nas áreas CTEM, que nos permite estabilizar uma pequena síntese caracterizadora, que não pretende ser consensual: uma representação

eminentemente visual e gráfica, de variáveis graus de elaboração, que coloca em imagem qualquer tipo de conteúdos (assuntos, motivos), sejam estruturais, relacionais ou processuais (Quillin & Thomas, 2015), utilizando sinteticamente os elementos do vocabulário gráfico (ponto, linha e mancha).

É importante perceber que o campo do desenho está repleto de outros nomes que são relevantes listar, cada um deles com a sua especificidade e características, construindo um cosmos diversificado de modos de formar e de operar: ilustrações, esquemas, gráficos, anotações, modelos, diagramas, organigramas, mapas, mapas conceptuais, pictogramas, ideogramas, etc.

Focando-se nas áreas da biologia, da microbiologia, da bioquímica e da bioinformática, a recolha contempla a) desenhos de estudantes, executados no contexto pedagógico da aprendizagem, b) desenhos de professores, efectuados, por sua vez, no contexto pedagógico do ensino, c) desenho de investigadoras, efectuados durante os vários processos de investigação e ainda d) um exemplo curioso e particular de comunicação para um público não especialista. Pretendemos analisar e discutir as acções, funções e utilidades destas “imagens” no enquadramento dos mais recentes desenvolvimentos das investigações sobre os “saberes do desenho”. Pretendemos assim perceber como as várias tipologias do desenho funcionam nestes contextos, perceber as suas mais-valias, as suas valências, mas também os seus limites e os seus riscos.

O desenho nos processos de aprendizagem

“Eu ouço e eu esqueço,
Eu vejo e eu recordo,
Eu faço e eu compreendo.”
Confúcio

“Subjacente a esta história de sucesso tecnológico, está a ideia de que a vantagem da imagem [tecnológica] sobre o texto e sobre a linguagem complexa consiste na sua capacidade de transmitir factos com maior facilidade e clareza, de ser legível intuitivamente, num relance.”

Margarete Pratschke

Esta competência da “imagem técnica” sobre o texto, “de transmitir factos com maior facilidade e clareza” (Pratschke, 2015, p. 48), é uma competência fundamental que é ainda mais amplificada no caso do desenho, onde este consegue uma simplificação e uma eficácia comparativamente com a imagem óptica (a imagem fotográfica). Qualquer desenho é sempre um equilíbrio (ou tensão) conseguido entre o ênfatismo e a exclusão (Massironi, 1982), isto é, entre aquilo que, no processo de construção da imagem, é salientado e aquilo que é desvalorizado ou mesmo anulado. O desenho é assim um trabalho de clarificação sobre a complexidade do que se vê e sobre aquilo que representa. É esta aparência de *facilidade e clareza* que torna o desenho um forte instrumento pedagógico nos processos de aprendizagem.

Drawing-to-learn tem sido um termo diversas vezes usado quando se fala nos usos do desenho como instrumento ou mediador pedagógico nas áreas CTEM. As mais recentes investigações sobre os usos do desenho como instrumento de aprendizagem, salientam as competências desenvolvidas pela prática do desenho quer no modo mais fino de observar o real, quer como instrumento clarificador e simplificador duma complexidade e aparente caos visual, quer como, através dessas competências, ser um elemento propiciador da memorização – o desenho de observação obriga a uma atenção e concentração estimuladora da memorização (OCR, 2015).

Começemos por observar os desenhos recolhidos nos Relatórios das cadeiras de Biologia Vegetal 1 e Biologia Vegetal 2, do 1º ano da

Licenciatura em Ciências do Meio Aquático do Instituto de Ciências Biomédicas Abel Salazar (ICBAS) (imagens 1, 2 e 3). São desenhos realizados a partir de fotografias de preparações observadas e registadas ao microscópio, feitos como trabalho de estudo extra-aula e tendo como princípio organizativo, em cada página, nos dois primeiros desenhos, uma vista de conjunto e um detalhe ampliado dessa vista. Estes exercícios têm o propósito declarado de trabalhar o discernimento e o entendimento das formas complexas e obscuras, transformando-as, com o auxílio das legendas, em formas entendíveis e catalogáveis. A coloração dada pelas preparações feitas das amostras microscópicas é transposta para os desenhos, permitindo a distinção das diferentes componentes que a legenda esclarece. A imagem 3 é a única que apresenta, juntamente com as imagens microscópicas, um registo naturalista do objecto de estudo. Podemos dizer, perante estes registos que, fundamentalmente, as competências gráficas necessárias para os produzir são competências de observação atenta e de alguma cultura visual deste tipo de imagens (linhas precisas e definida, respeito pelas configurações e pelas proporções, leitura clara de espaços positivos e espaços negativos, homogeneidade perceptiva dos elementos constituintes).

Na amostra de três registos de um mesmo preparado, recolhidos na Licenciatura de Biologia da Faculdade de Ciências da Universidade do Porto (FCUP) (imagens 4, 5 e 6), e, ao contrário dos exemplos anteriores, estes realizados no espaço da aula, apresentam-se algumas variações da escala do registo, variações das relações forma/fundo nos diversos elementos constituintes e falhas na hierarquia das intensidades descritas que perturbam o resultado final. Pode-se dizer que falta aqui o referencial de uma cultura visual e das imagens específicas da microbiologia que ajudariam a estabelecer um padrão normativo do carácter da imagem. Seria interessante perceber como estudantes poderiam refazer estes mesmos desenhos depois de uma apresentação onde fossem alertados para estas questões específicas do foro da comunicação visual.

Neste conjunto de imagens do uso do desenho na aprendizagem de biologia, um último exemplo (imagem 7) para mostrar uma resposta engenhosa a um problema: um rolo de papel contínuo (com as dimensões de 757 x 47 cm) onde foi registada toda a matéria da disciplina de Bioquímica 2, do terceiro ano da licenciatura conjunta FCUP/ICBAS, em Bioquímica. O uso expedito, claro e eficaz desta so-

lução que articula a informação da linguagem verbal com os esquemas simples da linguagem visual, permitiu ao estudante Ricardo Bessa¹ apresentar-se a exame (com possibilidade de consulta) com simplesmente este rolo de papel.

O desenho nos processos de ensino

Se as imagens, nomeadamente os desenhos, na sua estaticidade, são fulcrais para estudantes desenvolverem o entendimento das matérias, o acto de docentes desenharem enquanto explanam os conteúdos, transforma a dinâmica pedagógica, criando um efeito empático de desvelamento, de revelação perante o olhar de estudantes. Desenhar sequencialmente no quadro é um processo que acentua o papel performativo do professor e arrasta os estudantes para o interior da acção do desenrolar do pensamento.

O Professor Luís Belchior Santos² recusa as “apresentações Powerpoint” pois estas são predefinidas, estáticas e expositivas, impedindo o fluxo das interações entre docente e estudantes. Ao contrário, desenhar no quadro da sala de aula permite pôr a relação ensino/aprendizagem em movimento, pôr os conteúdos em acção (Barany & MacKenzie, 2014), colocando cada estudante como espectador/participante activo do processo pedagógico. A dinâmica das aulas é assim aumentada permitindo também que o professor faça a gestão do fluxo de informação transmitida, disponibilizando a este estratégias diferenciadas conforme as respostas dos alunos: mais informação, menos informação, variantes de informação, desvios e acentuações, etc.; o docente está, ele próprio, reactivo às reações dos seus estudantes (Fig. 1 e imagem 8).

- 1 Ricardo de Sá Bessa, completou a Licenciatura e Mestrado em Bioquímica na Faculdade de Ciências da Universidade do Porto/Instituto de Ciências Biomédicas Abel Salazar, sendo actualmente doutorando em Engenharia de Tecidos e Biomateriais no I3Bs na Universidade do Minho.
- 2 Luís Belchior Santos é Professor Associado com Agregação da Faculdade de Ciências da Universidade do Porto, docente e investigador no Departamento de Química e Bioquímica, desenvolvendo a sua actividade de investigação no Grupo de Química-Física do Centro de Investigação em Química da Universidade do Porto.



Fig. 1 – Professor Luís Belchior Santos desenhando no quadro de sala de aula (fotografia de Ana Lobo Ferreira).

Um outro exemplo diferenciado do uso do desenho no ensino é-nos dado pelo Professor Carlos Azevedo³, com as “ilustrações” produzidas especificamente para o compêndio “Biologia celular e molecular” de que é coautor e editor (imagens 9 e 10).

Veremos mais à frente (em “O desenho nos processos de investigação”) que o Professor Carlos Azevedo usa a imagem desenhada em vez da imagem fotográfica, porque, para além da já tradicional clareza e eficácia, o desenho lhe permite, nas representações das suas observações ao microscópio electrónico, fornecer uma imagem com uma melhor descrição da volumetria do elemento observado. Este problema estratégico de uma representação que forneça mais informação morfológica (a sua volumetria), para além da imagem plana obtida pela fotografia ao microscópio, está exposto na imagem 9, onde os princípios básicos geométricos de intersecção de planos de corte com um sólido, permite explicar as vantagens de utilização da mesma estratégia de representação à forma orgânica da Mitocôndria. Na imagem 10, que representa as fases de penetração durante a fertilização, o modo de descrever o percurso temporal é através da leitura sequencial dos desenhos, criando um sentido de animação da imagem, como uma banda desenhada ou um *storyboard*. A questão da representação do tempo no espaço das representações é, em biologia, de importância

3 Carlos Azevedo é co-autor/editor do livro *Biologia celular e molecular*, estando a preparar a sua 6ª edição. É Professor Catedrático Jubilado, estando ligado ao ICBAS desde a sua fundação, em 1975. Durante cerca de 30 anos foi director do Departamento de Biologia Celular. Tem trabalhado muito em investigação de microbiologia com universidades estrangeiras. Publicou mais de 180 artigos em revistas indexadas onde descreveu cerca de 70 novas espécies de microparasitas.

acrescida pois é da dinâmica temporal da vida que a biologia trata. As experiências recentes desenvolvidas por Gemma Anderson neste campo enfatizam o entendimento da forma como algo predominantemente dinâmico, proposta pela definição de Steigerwald da visão da morfologia de Goethe como uma “teoria da forma, da formação e da transformação” (Anderson, 2017, p. 110; Anderson *et al.*, 2019).

O desenho nos processos de investigação

O desenho actua nos complexos processos de investigação científica não só como instrumento da visualização, como “colocar em imagem” a complexidade do que é abordado e investigado, mas também como um meio que estimula e redefine o próprio rigor científico (Coopmans *et al.*, 2014, p. 3).

Podemos observar a partir dos desenhos obtidos em contexto de investigação em biologia, três conjuntos de imagens que remetem para três tempos diversificados da investigação. Um primeiro conjunto de registos feitos como notas de observação ao microscópio pelo professor e investigador Alexandre Lobo da Cunha⁴; um segundo conjunto como exemplo de trabalho sobre esquemas gráficos para uma publicação científica, mostrando o *work in progress*, da equipa de investigação dirigida pelo professor e investigador Fernando Tavares⁵; e um terceiro conjunto com ilustrações finais, também para artigos científicos, feitos pelo professor jubilado e investigador Carlos Azevedo. Temos assim três conjuntos de desenhos que correspondem a três estádios diferentes nos processos de investigação: um inicial e ainda indeterminado, um outro estádio de procura das melhores soluções possíveis para a visualização da informação, num processo aberto de tentativa e erro, e um último, que corresponde a imagens fechadas e concluídas de ilustrações precisas e detalhadas.

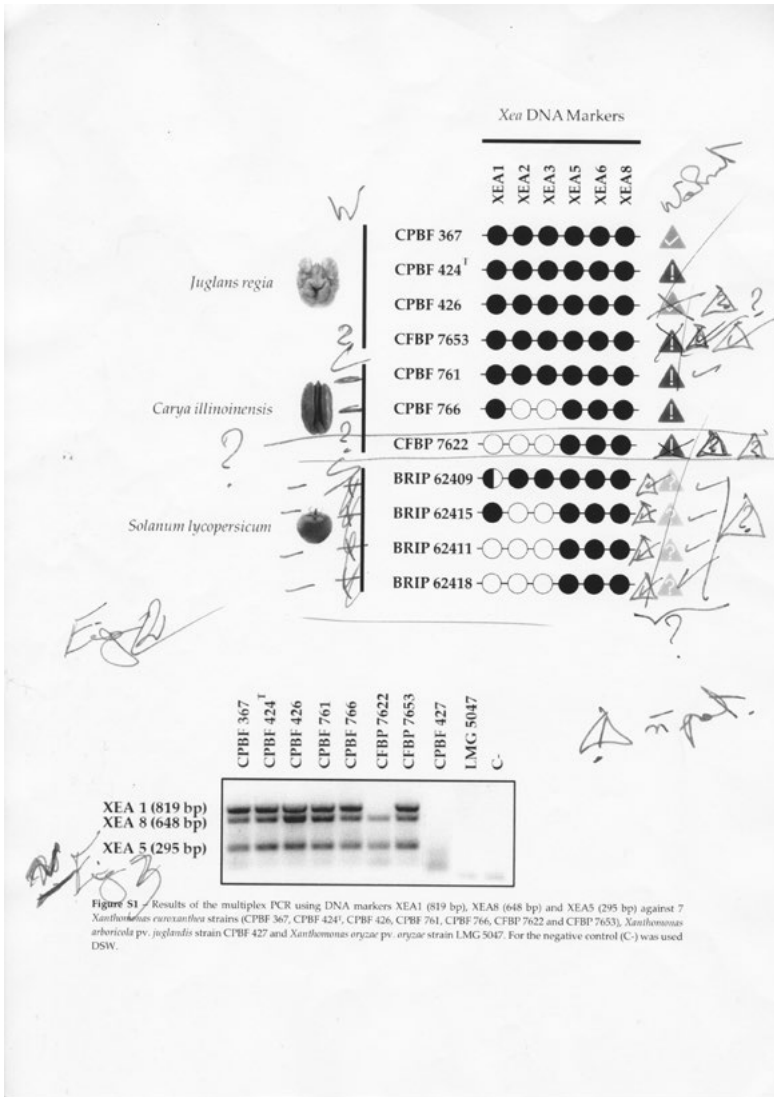
- 4 Professor Catedrático do ICBAS, Director do Departamento de Microscopia, Director do curso de Licenciatura em Ciências do Meio Aquático e Director do Programa Doutoral em Ciências do Meio Aquático – Biologia e Ecologia.
- 5 Professor Associado da Faculdade de Ciências da UP, docente de Bioinformática e investigador no Centro de Investigação em Biodiversidade e Recursos Genéticos.

No primeiro caso (imagens 11 e 12), são registos de anotações diversificadas feitas ao microscópio, num estágio ainda impreciso e aberto de investigação, anotando de uma maneira rápida e esquemática, as estruturas que poderão vir a ser assunto posterior de investigação. É, por assim dizer, um processo de “abrir a caça” e de “lançar as redes”, um rastreio inicial de procura, atento ao indeterminado e ao imprevisto. Estes registos, onde dialogam os esquemas gráficos com as legendas e os comentários das observações, são o ponto de partida, o preparar o terreno para os processos posteriores de investigação, mais metodologicamente focados e definidos. De notar que, neste estágio, os desenhos não têm como finalidade comunicar a um público exterior, mas sim constituir um banco de informações para o próprio investigador. São, claramente, desenhos para o próprio autor, numa utilização mnemónica dos cadernos de laboratório. Assim, a eficácia que o desenho consegue atingir é máxima: são claramente esboços despreocupados e fluidos, especulativos e interrogantes. É esta característica do esboço de ser ao mesmo tempo rápido, gestual, fluído, indeterminante, aberto e inconclusivo que o torna um potenciador de novas conexões e analogias (Kantrovitch, 2012, p. 10).

Como, já em 1932, Abel Salazar se referia ao desenho ao microscópio:

(...) um esboço sóbrio e rápido substitui com vantagem uma longa anotação, torna mais breve e fácil o trabalho de documentação e ajuda a fixar a atenção sobre os pormenores que de outro modo passariam talvez despercebidos. Entre os diferentes processos de reprodução conhecidos e utilizados hoje em dia, o que até agora congregou a preferência dos investigadores é, sem excepção, o desenho (...) (Salazar, 1932).

No segundo caso (Fig. 2) são imagens sobre as imagens, no natural processo de afinação e correção, de modo a conseguir o máximo efeito comunicacional com o mínimo de recursos gráficos. Área que lida com enormes quantidades de informação e de complexidade de dados, a bioinformática necessita das representações gráficas como um modo sintético de organizar e comunicar a informação. Encontrar a melhor solução possível é um caminho experimental de testar hipóteses organizativas e composicionais dos diversos dados.



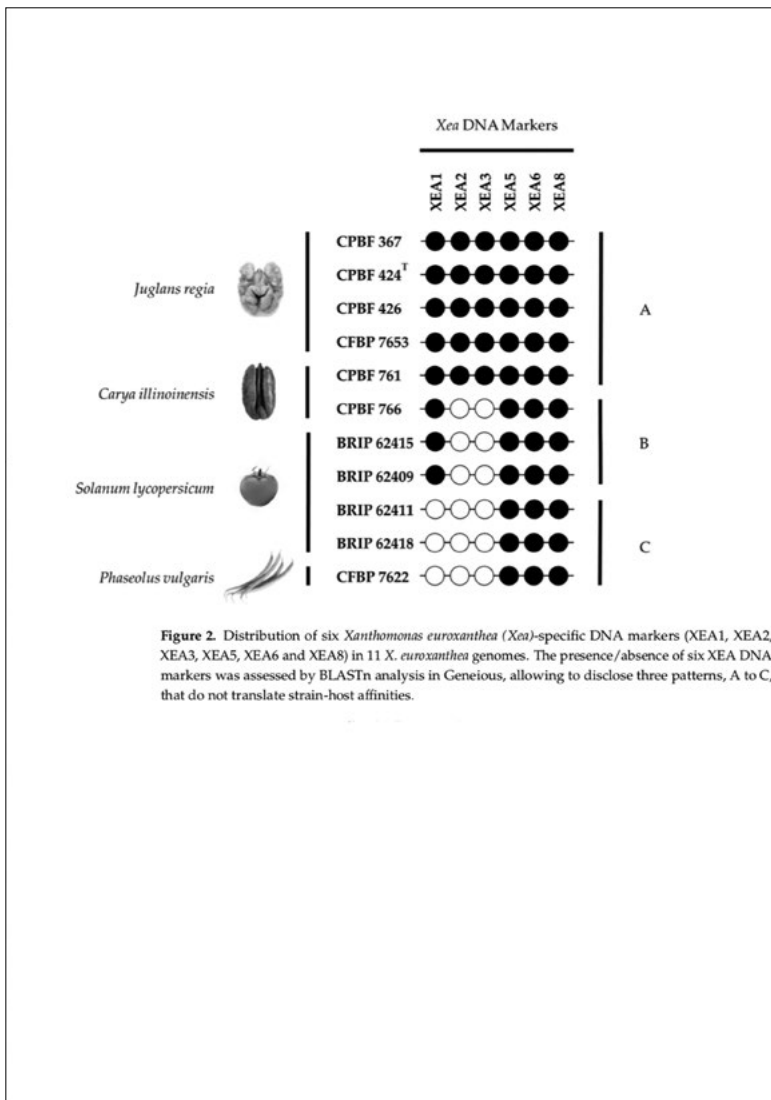


Fig. 2 – Professor Fernando Tavares *et al.*, folha de trabalho e respectiva imagem final usada em artigo científico.

No terceiro caso, nos desenhos de microbiologia do Professor Carlos Azevedo (imagens 13 e 14), temos a imagem a cumprir o seu histórico papel de comunicar visualmente os resultados da investigação. É a parte final do processo de investigação, o processo de comunicação com os seus pares, em artigos de revistas científicas da especialidade, onde o desenho mostra o que a fotografia não consegue mostrar. No seu processo de trabalho de identificação de parasitas, o Professor Carlos Azevedo vai fotografando as sucessivas ampliações conseguidas ao microscópio electrónico, obtendo desta maneira, imagens 2D, planas do objecto de estudo. Na impossibilidade de estas fotografias revelarem uma visualização mais completa da volumetria em causa, o desenho é usado como modo de superação da planificação das imagens fotográficas, mostrando o que de outro modo não seria possível. Assim, as imagens desenhadas são uma representação para além das limitações impostas pelo instrumento de observação.

O desenho nos processos de comunicação

Este será, porventura, o campo onde se poderá encontrar o maior número de exemplos. Claramente presentes em qualquer compêndio ou livro de divulgação mais generalista, as imagens gráficas de esquemas, gráficos, ilustrações, etc., são matéria-prima da comunicação da ciência. Escolhemos aqui um exemplo curioso, pelas suas características diferenciadoras e pelos processos comunicacionais usados para cativar um público-alvo distinto, a “Imunologia em *Cartoon*”, trabalho desenvolvido pelo bioquímico Jorge Carneiro⁶ (Fig. 3 e Fig. 4, imagens 15 e 16). Jorge Carneiro usa a retórica gráfica e narrativa da banda desenhada e da ilustração para “contar” a história das “células boas e das células más”, numa estratégia pedagógica e comunicacional bem humorada e apelativa.

6 Jorge Carneiro é biólogo teórico e computacional, Investigador Principal no Laboratório Associado de Oeiras, coordenador do Laboratório de Biologia Quantitativa do Organismo e Director do Programa Doutoral em Biologia Computacional do Instituto Gulbenkian de Ciência. Licenciado em Bioquímica pela Universidade do Porto em 1991, estagiou no Laboratório de Imunologia com o Professor Arala Chaves, no Instituto de Ciências Biomédicas Abel Salazar (ICBAS).

É, de todas as imagens recolhidas, o único caso em que o autor necessita de competências gráficas mais desenvolvidas e elaboradas, pois entra num território de construção das imagens mais especializado e com uma cultura própria (banda desenhada e narrativa gráfica).

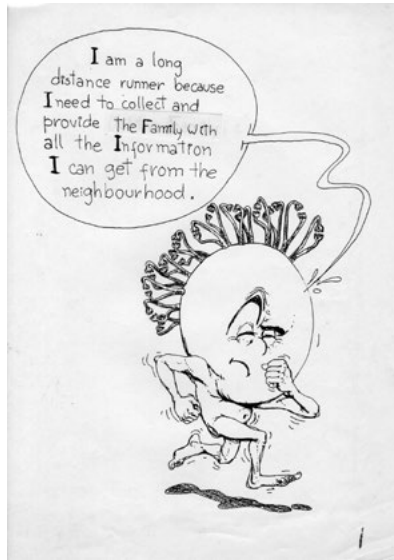


Fig. 3 – Linfócito T alfa beta circulante. Prancha de trabalho de “Imunologia em Cartoon”, Jorge Carneiro, 1989.



Fig. 4 – Resposta imune ao antígeno. Prancha de trabalho de “Imunologia em Cartoon”, Jorge Carneiro, 1989.

Em conclusão

É inquestionável a importância da imagem e nomeadamente das imagens oriundas do território do desenho, nos diversos processos e nos campos diversificados da biologia. A conjugação, na maioria dos exemplos mostrados, da linguagem verbal com a numérica e com a visual, constrói o pleno da comunicação, onde cada linguagem explana o seu campo de competências, articulando o seu “saber” com as outras linguagens, na construção de uma unidade operativa e comunicacional.

As mais recentes investigações sobre a relação entre o desenho e a biologia sublinham as suas mais-valias que vão desde o desenvolvimento de qualidades de atenção e de observação (Ainsworth, Prain & Tyler, 2011), até às competências de formatação, de comunicação e de especulação criativa (tão necessária às artes como às ciências), não se ficando só pelo que é o campo do visual e espacial, mas agindo também no domínio complexo das dinâmicas espaço-temporais, replicando a dinâmica dos seres vivos (Anderson *et al.* 2019).

No entanto, a não existência de uma literacia visual de base nos diferentes níveis de ensino, acompanhado do fornecimento operativo básico e claro das linguagens visuais, contamina as hipóteses de uma relação efectiva de estudantes com a prática da produção das imagens.

Os casos que apresentamos tendem a ser situações de excepção no panorama do ensino superior. Maioritariamente o uso das imagens desenhadas se resolve com a tendência de importar soluções *prêt-à-porter*, pré-definidas e estereotipadas, aniquilando as vantagens e o desenvolvimento de competências de atenção perceptiva e de observação focada que a prática de produzir as próprias imagens gráficas promove e desenvolve (Wu & Rau, 2019).

Como incentivar o uso do desenho será o desafio a que nos propomos na sequência deste projecto, sabendo de antemão que haverá resistências e desistências, motivadas pela pressão académica (exames e avaliações) e pela rotina. A experiência realizada de pequenos workshops conjuntos entre estudantes de biologia e de desenho, tem-se mostrado animadora, ajudando a desconstruir o mito da habilidade e da dificuldade, substituindo uma visão “artística” do desenho pelas suas qualidades pragmáticas.

Para concluir, retomo o parágrafo final de um texto meu (Bismarck, 2018), que refere o uso do desenho na observação científica (no caso, na anatomia) e que realça as mesmas qualidades e mais-valias do uso do desenho nas áreas da biologia.

O acto de desenhar é uma implicação excessiva e excepcional com o ver: obriga a essa atenção medida mas também desmedida do olhar, do geral e do detalhe, da superfície e das entranhas, do táctil e do óptico, do rígido e do mole, do denso e do ténue, do pequeno e do grande; a enfatizar o que, a cada momento, é considerado relevante e a excluir o que é supérfluo, obriga a seleccionar, tomar opções, a decidir, a identificar, no fundo a diagnosticar. Neste sentido, o “olho” treinado para o desenho é um “olho clínico”. (...) Evidentemente que não se trata de produzir “belos” desenhos, trata-se sim de usar os instrumentos gráficos como um bisturi e como uma prótese de extensão dos olhos. Trata-se no fundo de cumprir um desígnio intrínseco do desenho, já formulado pelo anatomista, desenhador e cirurgião escocês John Bell (1763-1820) no prefácio da sua obra *Engravings of the Bones, Muscles, and Joints* (Londres, 1794), o de provocar no desenho essa vontade de ser ‘útil’.

RECONHECIMENTO

Agradeço às seguintes personalidades o apoio, implícito ou explícito, que forneceram para o bom andamento deste projecto e que, sem o qual, este não teria sido possível: Professor Luís Belchior Santos, Professor Carlos Azevedo, Professora Maria Strecht, Professor Alexandre Lobo da Cunha, Professor Fernando Tavares, Doutor Jorge Carneiro e Lic. Ricardo Sá Bessa.

Referências

- Ainsworth, S.; Prain, V. and Tyler, R. (2011). Drawing to learn in Science. *Science* 333, pp. 1096–1097.
- Anderson, G. (2017). *Drawing as a way of knowing in Art and Science*. Bristol: Intellect.
- Anderson, G., Dupré J. & Wakefield J. (2019). "Drawing and the dynamic nature of living systems". *Elifesciences.org* [Acessível em: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC6436894/>]
- Barany, M. J. & MacKenzie, D. (2014). "Chalk: Materials and Concepts in Mathematics Research". In Coopmans, C., Vertesi, J., Lynch, M. & Woolgar, S., (Eds.) *Representation in Scientific Practice Revisited*. Cambridge, Massachusetts; London, England: The MIT Press.
- Bismarck, M. (2018). "Desenhos e anatomias". In Ferraz, A. R. (Ed.) *Hernâni Monteiro Figura eminente da U. Porto*. Porto: U. P. Edições.
- Bruhn, M. (2015). "Behind the Icons of Knowledge: Artistic Styles and the Art History of Scientific Imagery". in Bredekamp, H.; Dünkel, V.; Schneider, B. (Eds.). *The Technical Image*. Chicago: The University of Chicago Press, pp. 36-45.
- Coopmans, C., Vertesi, J., Lynch, M. & Woolgar, S. (2014). *Representation in Scientific Practice Revisited*. Cambridge, Massachusetts; London, England: The MIT Press.
- Goethe, J. (1980). "Goethe on Art. Selected, edited and translated by John Gage". Berkeley: University of California Press.
- Kantrowitz, A. (2012). "The man behind the curtain: what cognitive Science reveals about drawing". *The Journal of Aesthetic Education*, Vol. 46, Number 1.
- Lyons, L. (2012). "Drawing your way into understanding". *Tracey - Drawing and Visualization Research: Drawing Knowledge*. Loughborough: Loughborough University [Acessível em: https://www.lboro.ac.uk/microsites/sota/tracey/journal/edu/2012/PDF/Lucy_Lyons-TRACEY-Journal-DK-2012.pdf]
- Massironi, M. (1982). *Ver pelo desenho*. Lisboa: Edições 70.
- OCR (2015). *A Level Biology Drawing Skills - Biological Drawing*. Cambridge: Cambridge University Press & Assessment [Acessível em: <https://www.ocr.org.uk/qualifications/as-a-level-gce-biology-a-h020-h420-from-2015/delivery-guide/Images/123-287412-drawing-skills-booklet-handbook.pdf>].
- Petherbridge, D. (2021). "Desenho como empoderamento" [documento fotocopiado]. Comunicação apresentada na abertura do projeto DRAWNinU – Desenhar entre Fronteiras na Universidade, 20 de dezembro de 2021, FBAUP.
- Pratschke, M. (2015) "Interacting with Images – Toward a History of the Digital Image: The Case of Graphical User Interfaces", in Bredekamp, H.; Dünkel, V. Schneider, B. (Eds.) *The Technical Image*. Chicago: The University of Chicago Press, pp. 48-61.
- Quillin, K.; Thomas, S. (2015). "*Drawing-to-Learn: A Framework for Using Drawings to Promote Model-Based Reasoning in Biology*". *CBE-Life Sciences Education*. Vol. 14(1), pp. 1-16.
- Salazar, A. (1932). "Procédé Rapide de Dessin Microscopique." *Separata Folia Anatomica*. Universitatis Conimbricensis. Vol. VII (12).
- Valéry, P. (1965). *Degas, danse, dessin*. Paris: Gallimard.
- Wu, S. P. W., e Rau, M. A. (2019). "How Students Learn Content in Science, Technology, Engineering, and Mathematics (STEM) Through Drawing Activities". *Educational Psychology Review*, 31(1), pp. 87-120.

*The use of drawing in the areas of biology.
Drawing to learn, drawing to teach,
drawing to research, drawing to communicate*

Mário Bismarck

“If you can look, see. If you can see, observe.”

José Saramago

“Knowledge is communicated by images.”

Matthias Bruhn

“We talk too much. We ought to talk less and draw more.
For my part, I should like to lose the habit of conversation
and, like nature, express myself entirely in drawings.”

Goethe

Introduction

For those of us who draw, this text (and even this research project) stems from the paradoxical feeling that although drawing, in its various forms and typologies, appears in STEM areas as a privileged means of exploring, recording and communicating knowledge, there are few scientists or students in these areas who consciously construct, work, and create their own drawings. In general, we can say that science uses drawing – an effective, democratic, and accessible *lingua-franca* (Petherbridge 2021) – primarily as a “consumer” rather than a “producer”.

However, is this feeling accurate? I.e., do scientists in different areas not draw? Do they not use more or less schematic or elaborate

graphic records to transmit knowledge or even to note down and stimulate their research? How do they name those records? What are they used for? Furthermore, can they be replaced by other media?

The word “drawing” is laden with implicit meanings and common-sense connotations that bind it to the realm of Art, or rather to artistic expression and consequently to the field of subjectivity, emotion and sensitivity on the one hand, and on the other hand, associate it with a deeply ingrained idea of the need of a skill, a “knack”, an innate and unlearnable competence. Both these common senses of the word account for a strong obstacle and barrier to the dissemination of drawing as a practice in the field of sciences. The resistance of those who do not draw to engage with drawing is further amplified by the common (albeit wrong) notion that learning to draw is a time-consuming task and not worth the effort.

We intend to show in this collection that, in most cases, the required skills are the everyday life skills of a driven and focused observation, which the practice of “drawing with a pencil in hand” (Valéry, 1938, p. 77) amplifies and develops (Lyons 2012), along with minimal knowledge of representation strategies that stabilised and rely on rigorous communication protocols. Furthermore, besides being a universal and direct language, drawing allows and even stimulates the speculative design practices necessary for any artistic or scientific creation. In scientific practice, drawing also has the ability to stimulate hypothesis-generating process skills, plan experiences, visualise and interpret data, and communicate the outcomes (Quillin and Thomas, 2015).

But what is “drawing”? Obviously, there is no single possibility of defining it, thus closing the discussion on what drawing is. There is no consensus, nor is this to be expected. However, there has recently been a significant increase of research in the past 20 or 30 years regarding the cognitive and speculative skills that drawing can develop, particularly in its usage across STEM areas. This allows us to formulate a brief and non-consensual synthesis: drawing is an inherently visual and graphic representation of variable degrees of complexity that translates any type of contents (subjects, motives) into images, whether they are structural, relational or processual (Quillin and Thomas 2015), by synthetically applying the elements of the graphic vocabulary (dot, line and stain).

It is important to realise that the field of drawing is filled with other relevant names that are worth listing, each with its own speci-

ficity and characteristics, creating a diverse cosmos of ways of shaping and operating: illustrations, schemes, charts, annotations, models, diagrams, organigrams, maps, concept maps, pictograms, ideograms, etc.

Focusing on the areas of biology, microbiology, biochemistry and bioinformatics, this collection encompasses a) drawings by students, carried out in the pedagogical context of learning, b) drawings by teachers, made in the pedagogical context of teaching, c) drawings by researchers, made during several research processes and phases, and also d) a curious and particular example of communication for a non-specialist audience. We intend to analyse and discuss the actions, functions and utilities of these “images” within the framework of the most recent developments in research on “drawing knowledges”. Our goal is to understand how the various typologies of drawing operate in these contexts, to grasp their advantages and strengths, but also their limitations and risks.

Drawing in learning processes

“I hear and I forget,
I see and I remember,
I do and I understand.”
Confucius

“Underlying this technological success story is the idea that the image’s advantage over text and complex language consists in its particular ability to convey facts with greater ease and clarity, to be legible intuitively and at a glance.”
Margarete Pratschke

This competence of “technical image” over text, “to convey facts with greater ease and clarity” (Pratschke, 2015, p. 48), is a fundamental skill that is further amplified in the case of drawing, where it achieves simplification and effectiveness compared to the optical image (photographic image). Any drawing is always a balance (or a tension) achieved between emphasis and exclusion (Massironi, 1982), that is, between what is highlighted in the process of constructing the image and what is devalued or even nullified. Drawing is thus a work of

clarification on the complexity of what is seen and what it represents. It is this appearance of *ease and clarity* that makes drawing a strong pedagogical tool in learning processes.

“Drawing-to-learn” has been an expression frequently used when discussing the uses of drawing as a pedagogical instrument or mediator in STEM areas. The most recent research on the uses of drawing as a learning tool emphasises the skills developed through the practice of drawing, both in the finer mode of observing reality and as a clarifying and simplifying instrument for visual complexity and apparent chaos. Additionally, through these skills, drawing can be a means to enhance memorisation (observational drawing requires attention and concentration that stimulates memorisation) (OCR 2015).

Let us begin by observing the drawings collected in the reports of the “Vegetable Biology 1” and “Vegetable Biology 2” courses from the first year of the Bachelor’s Degree in Aquatic Sciences at the School of Medicine and Biomedical Sciences Abel Salazar (ICBAS) (images 1, 2 and 3). These drawings are based on photographs of preparations observed and recorded under the microscope, created as extracurricular study work. The organisational principle of each page for the first two drawings contains an overall view and an enlarged detail of that view. The stated purpose of these exercises is to develop discernment and understanding of complex and obscure forms by transforming them into comprehensible and catalogable forms with the assistance of captions. The colouring derived from the microscopic samples is transposed to the drawings, allowing for the differentiation of the various components clarified by the caption. Image 3 stands out as the only one presenting a naturalist record of the object of study alongside the microscopic images. These records indicate that the essential graphic skills required to produce them primarily involve attentive observation and a certain level of visual literacy specific to this type of imagery (precise and well-defined lines, adherence to configurations and proportions, clear interpretation of positive and negative spaces, and perceptual homogeneity among the constituent elements).

In the sample comprising three drawings made in the classroom after the same specimen, collected at the BA in Biology of the Faculty of Sciences of the University of Porto (FCUP) (images 4, 5 and 6), some variations in the scale, variations in the form/background relationships within the different constitutive elements, and disruptions in the hierarchy of the described intensities are observed in the

final result. One could argue that the lack of a visual culture reference and specific images from microbiology hinders the establishment of a normative pattern for the character of the image. It would be interesting to assess how students could redraw these same records after a presentation that addresses these specific issues related to visual communication.

In this set of images depicting the use of drawing in biology learning, a final example (image 7) showcases a clever response to a problem: a continuous paper roll (measuring 757 cm x 47 cm) on which the entire subject matter of “Biochemistry 2”, a third-year course in the joint Biochemistry BA program between FCUP and ICBAS, was recorded. The efficient, clear, and effective use of this solution, which combines verbal language information with simple schemes of visual language, enabled student Ricardo Bessa¹ to present himself for the exam (with the option of material consultation) with just this paper roll.

Drawing in teaching processes

If images, particularly drawings, in their static nature, are crucial for students to develop their understanding of the subjects, the act of teachers’ drawing while explaining the content transforms the pedagogical dynamic, creating an empathetic effect of unveiling and revelation before the students’ gaze. Drawing sequentially on the board is a process that accentuates the performative role of the teacher and draws students into the interior of the unfolding thought process.

Professor Luís Belchior Santos² rejects “PowerPoint presentations” as they are pre-defined, static and expository, hindering the flow of interactions between the teacher and students. On the contra-

- 1 Ricardo de Sá Bessa completed his Undergraduate and Masters Degrees in Biochemistry at the Faculty of Sciences of the University of Porto/ School of Medicine and Biomedical Sciences Abel Salazar, and is currently a PhD student in Tissue and Biomaterial Engineering at I3Bs of the University of Minho.
- 2 Luís Belchior Santos is an Associate Professor with tenure at the Faculty of Sciences, Professor and researcher in the Department of Chemistry and Biochemistry, developing his research activities in the Chemistry-Physics Group at the Chemistry Research Centre of the University of Porto.

ry, drawing on the classroom board allows for the teaching/learning relationship to be set in motion, putting the content into action (Barany and MacKenzie, 2014), and positioning students as active spectators/participants in the pedagogical process. The dynamics of the classes are thus enhanced, enabling the teacher to manage the flow of transmitted information by providing differentiated strategies based on the students' responses: more information, less information, variations of information, deviations and emphasis, etcetera. The teacher is responsive to the reactions of their students (Fig. 1 and image 8).



Fig. 1 – Professor Luís Belchior Santos drawing on the classroom board
(Photograph by Ana Lobo Ferreira).

Another distinct example of the use of drawing in teaching is provided by Professor Carlos Azevedo,³ with the “illustrations” specifically produced for the textbook “Cellular and Molecular Biology”, of which he is co-author and editor (images 9 and 10). We will see further on (in “Drawing in research processes”) how Professor Carlos Azevedo, while representing his observations under the electron microscope, applies the drawn image instead of the photographic image because, in addition to the already traditional clarity and effectiveness, drawing enables him to provide an image that offers a better description of the volumetric characteristics of the observed element. This strategic challenge of achieving a representation that provides more morpho-

3 Carlos Azevedo is co-author/editor of the book *Biologia celular e molecular*, currently preparing its 6th edition. He is a retired Full Professor, linked to ICBAS since its foundation, in 1975. For around 30 years he served as Director of the Department of Cellular Biology. He has worked extensively with foreign universities on microbiology research, publishing over 180 articles in indexed journals in which he described around 70 new species of microparasites.

logical information (its volumetry) beyond the flat image obtained through microscope photography is exemplified in image 9. Here, the basic geometric principles of intersecting cutting planes with a solid allow for an explanation of the advantages of applying the same representational strategy to the organic shape of the Mitochondria.

In image 10, which represents the phases of penetration during fertilisation, the method of describing the temporal progression is through sequential interpretation of the drawings, creating a sense of animation within the image, similar to a comic strip or storyboard. The representation of time within the realm of visual representations holds an additional significance in biology, as it is the temporal dynamics of life that biology addresses. The recent experiences undertaken by Gemma Anderson in this field emphasise the understanding of form as predominantly dynamic, as proposed by Steigerwald's definition of Goethe's morphology as a "theory of form, formation and transformation" (Anderson 2017, p. 110; Anderson *et al.* 2019).

Drawing in research processes

Drawing plays a role in the complex processes of scientific research not only as a visualisation tool to “translate into image” the complexity of what is being addressed and investigated but also as a means that stimulates and redefines scientific rigour itself (Coopmans *et al.* 2014, p. 3).

From the drawings observed in the context of biology research, we can observe three sets of images that refer to three different stages of research. The first set of records consists of observation notes made under the microscope by Professor and researcher Alexandre Lobo da Cunha;⁴ the second set showcases work-in-progress examples of graphic schemes for a scientific publication, demonstrating the ongoing research efforts of the team led by Professor and researcher Fernando Tavares⁵; and a third set comprises final illustrations, also for scientific articles, made by the retired Professor and researcher Carlos Azevedo. We thus have three sets of drawings that correspond to three different stages in the research processes: an initial and yet undetermined stage, another stage of searching for the best possible solutions for visualising the information in an open process of trial and error, and a final one that corresponds to closed and concluded images of precise and detailed illustrations.

In the first case (images 11 and 12), there are records of diverse annotations made under the microscope in a still imprecise and open stage of research. They serve as quick and schematic notes, capturing structures that may become the subject of further research. It is, so to speak, a process of “opening the hunt” and “casting the nets”, an initial tracking search, attentive to the uncertain and the unexpected. These records, where graphic schemes dialogue with the captions and comments on observations, serve as a starting point, preparing the ground for subsequent research processes that are more methodologically focused and defined.

4 Full Professor at ICBAS, Director of the Department of Microscopy, Director of the Degree in Aquatic Environment Sciences and Director of the Doctoral Programme in Aquatic Environment Sciences – Biology and Ecology.

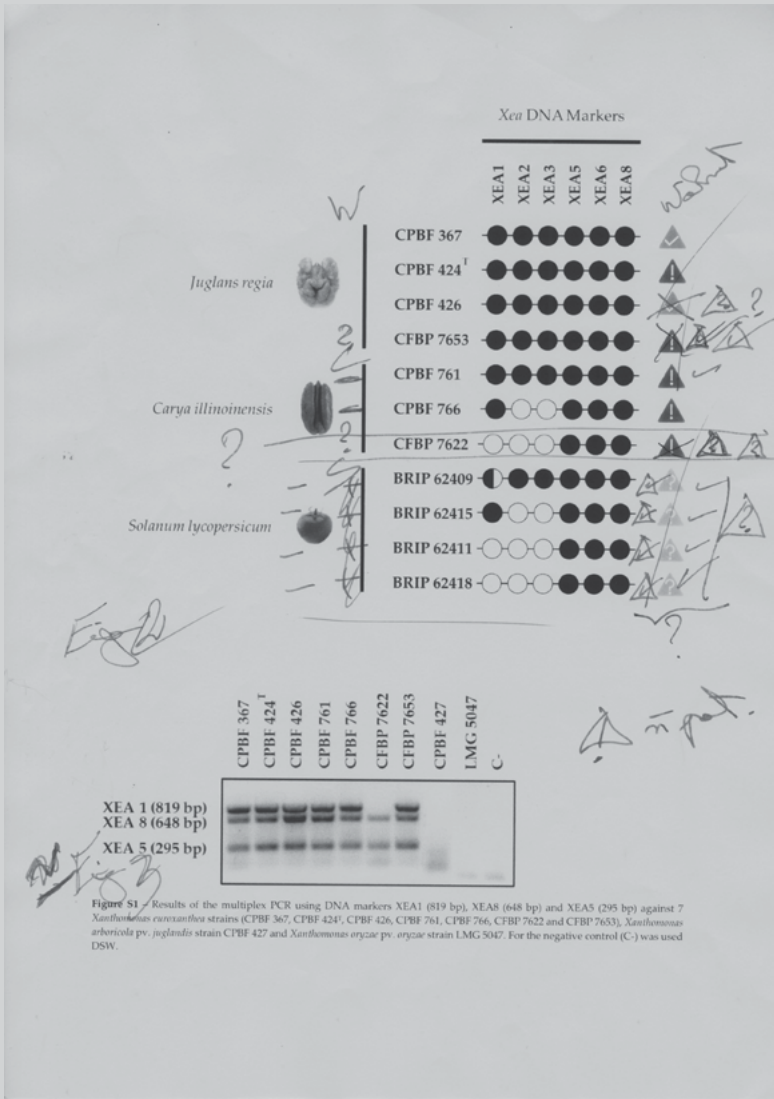
5 Associate Professor of the Faculty of Sciences at U.P., Professor of Bioinformatics and researcher at the Research Centre in Biodiversity and Genetic Resources.

It is worth noting that, at this stage, the drawings are not intended to communicate to an external audience but rather to serve as an information repository for the researchers themselves. These are clearly drawings for the author's own use, in a mnemonic application of the laboratory notebooks. Thus, the effectiveness that the drawing can achieve is maximum: they are clearly carefree and fluid sketches, speculative and inquisitive. It is this characteristic of the sketch, simultaneously quick, gestural, fluid, indeterminant, open and inconclusive, that makes it a trigger of new connections and analogies (Kantrovitch 2012, p. 10).

As Abel Salazar stated, as early as 1932, regarding drawing under the microscope:

“...a sober and quick sketch replaces long annotations with advantage, making the documentation work briefer and easier while helping to focus attention on details that might otherwise go unnoticed. Among the different processes of reproduction known and used nowadays, the one that so far has congregated the preference of researchers is, without exception, drawing...” (Salazar, 1932, p. 1)

In the second case (Fig. 2), there are images over images, in a natural process of refinement and correction, aiming to achieve a maximum communicative effect with minimal graphic resources. As an area dealing with vast amounts of information and data complexity, bioinformatics relies on graphic representations as a synthetic way to organise and communicate information. Finding the best possible solution is an experimental path of testing organisational and compositional hypotheses for the various data.



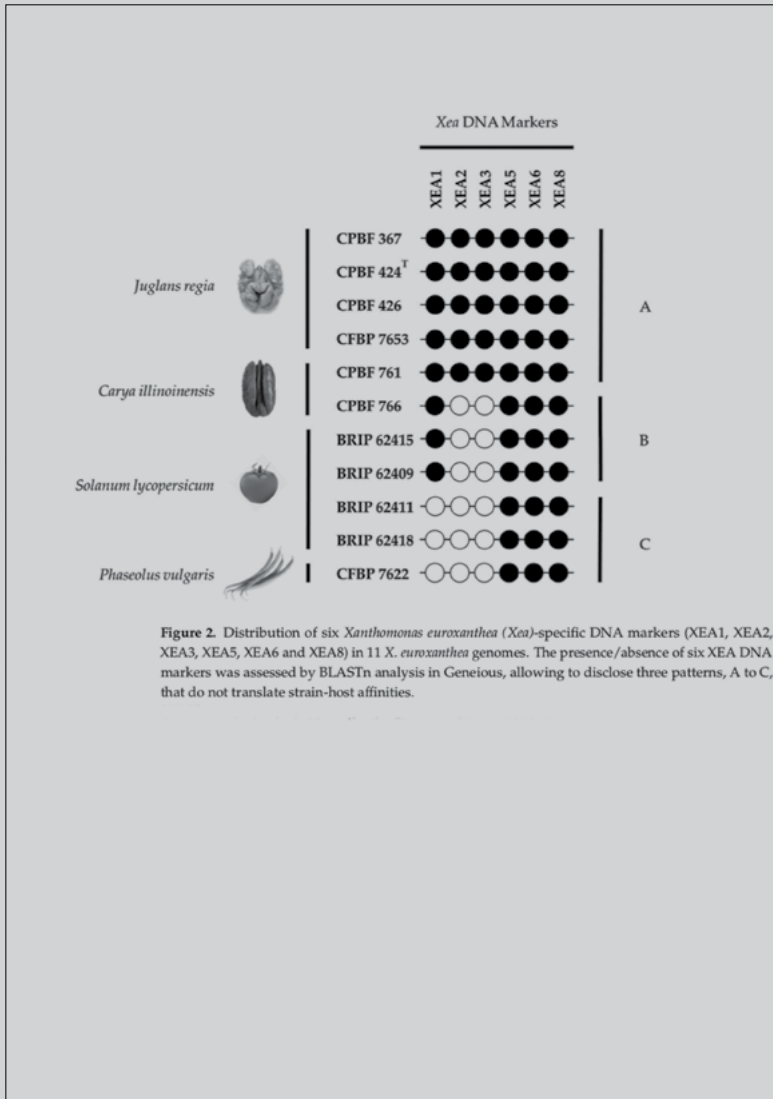


Fig. 2 Professor Fernando Tavares *et al.*: Work sheet and corresponding final image used in scientific article.

In the third case, in the microbiology drawings of Professor Carlos Azevedo (images 13 and 14), we have the image fulfilling its historical role of visually communicating research findings. This is the final part of the research process, the process of communicating with peers through specialised scientific journal papers, where drawing reveals what photography cannot show. In his working process of identifying parasites, Professor Carlos Azevedo photographs the successive amplifications achieved through the electronic microscope, thus obtaining 2D images, flat representations of the object of study. As these photographs are unable to provide a more complete visualisation of the volume in question, drawing is used as a means to overcome the flattening of photographic images, showing what would otherwise not be possible. Thus, drawn images are a representation beyond the limitations imposed by the observation instrument.

Drawing in communication processes

This might be the field where one can find the largest number of examples. Clearly present in any compendium or dissemination book, graphic images of schemes, charts, illustrations, etcetera, are the raw material of science communication. We have chosen here a curious example, because of its differentiating characteristics and the communication processes used to captivate a distinct target audience, “Cartoon Immunology”, a work developed by biochemist Jorge Carneiro⁶ (Fig. 3 and Fig. 4, images 15 and 16). Jorge Carneiro employs the graphic rhetoric and narrative of comics and illustration to “tell” the story of the “good cells and bad cells”, employing a pedagogical and communicational strategy that is both humorous and appealing.

Among all the collected images, this is the only case where the author needs more advanced and elaborate graphic skills, as it delves into a specialised territory of image construction with its own culture (comic and graphic narrative).

6 Jorge Carneiro is a theoretical and computational biologist, Lead Researcher at the Associated Laboratory of Oeiras, coordinator of the Quantitative Biology of the Organism Lab and Director of the Doctoral Program in Computational Biology at the Gulbenkian Institute of Science. With a Biochemistry Degree from the University of Porto in 1991, he interned at the Immunology Laboratory with Prof. Arala Chaves, at the School of Medicine and Biomedical Sciences (ICBAS).

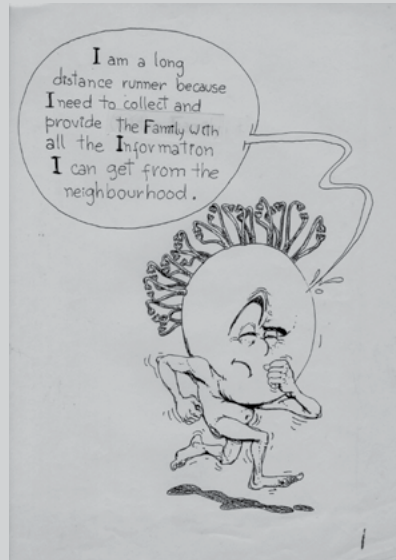


Fig. 3 – Circulating alpha beta T lymphocyte. Working sketch of “Cartoon Immunology”, Jorge Carneiro, 1989.



Fig. 4 – Immune response to the antigen. Working sketch of “Cartoon Immunology”, Jorge Carneiro, 1989.

In conclusion

It is unquestionable the importance of the image, particularly drawn images, in the various processes and diverse fields of biology. In most of the examples shown, the combination of verbal language with numerical and visual languages creates the wholeness of communication, where each language presents its own field of competencies, articulating its “knowledge” with the other languages in the construction of an operative and communicational unity.

The most recent research on the relationships between drawing and biology highlights its advantages, ranging from developing attention and observation skills (Ainsworth, Prain and Tyler 2011) to formatting, communication and creative speculation skills (essential for both arts and sciences). It extends beyond the visual and spatial fields, also acting in the complex domain of space-time dynamics, replicating the dynamics of living beings (Anderson *et al.* 2019).

However, the absence of fundamental visual literacy at different levels of teaching, along with the clear and practical support of visual languages, contaminates students’ effective engagement with the production of images.

The cases we present tend to be exceptional situations within the higher education panorama. Mostly, the use of drawn images is resolved by the tendency to import readymade, pre-defined and stereotyped solutions, annihilating the advantages and the development of perceptual attention skills and focused observation that the practice of producing one’s own graphic images promotes and develops (Wu and Rau 2019).

How to encourage the use of drawing will be the challenge we set out in the course of this project, knowing in advance that there will be resistance and setbacks motivated by academic pressures (exams and evaluations) and routine. The experience carried out of small joint workshops between biology and drawing students has proven to be encouraging, helping to deconstruct the myth of skill and difficulty, replacing an “artistic” view of drawing with its pragmatic qualities.

To conclude, I revisit the final paragraph of another text I wrote (Bismarck 2018), addressing the use of drawing in scientific observation (anatomy in this case) and highlighting the same qualities and advantages of using drawing in the field of biology.

The act of drawing is an excessive and exceptional involvement with seeing: it demands both measured and unmeasured attention to the act of looking at the general and the detail, the surface and the entrails, the tactile and the optical, the rigid and the soft, the dense and the tenuous, the small and the large; emphasising what is considered relevant at each moment and excluding what is superfluous, it requires selecting, making choices, deciding, identifying, essentially diagnosing. In this sense, the “trained eye” for drawing is a “clinical eye”. (...) Clearly, the goal is not to produce “beautiful” drawings but to use graphic instruments like a scalpel and prosthesis to expand the eyes. Ultimately, it is about fulfilling an intrinsic purpose of drawing, as articulated by the Scottish anatomist, draughtsman, and surgeon John Bell (1763-1820) in the preface of his work *Engravings of the Bones, Muscles, and Joints* (London, 1794), that of imbue drawing with the desire to be “useful”.

ACKNOWLEDGMENT

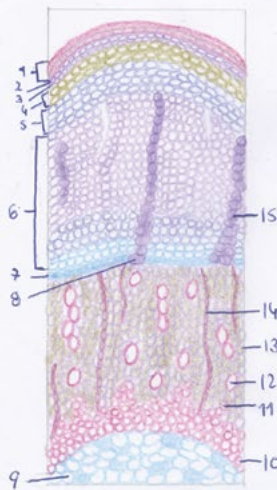
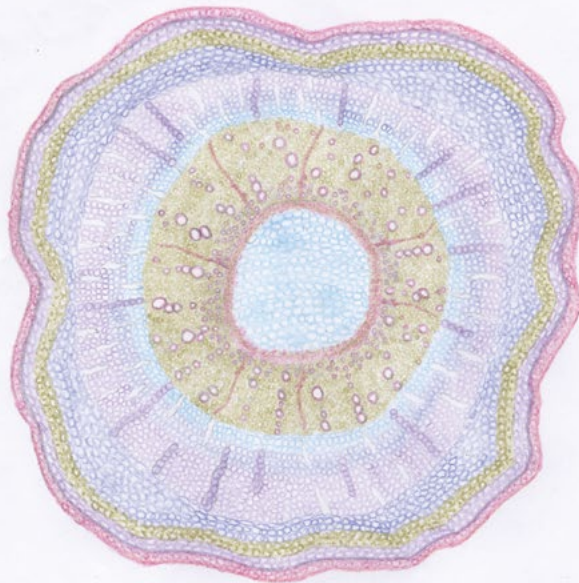
I thank the following personalities for the support, whether implicit or explicit, they provided for the successful progress of this project, without which it would not have been possible: Professor Luís Belchior Santos, Professor Carlos Azevedo, Professor Maria Strecht, Professor Alexandre Lobo da Cunha, Professor Fernando Tavares, Dr. Jorge Carneiro, and Mr. Ricardo Sá Bessa.

References

- Ainsworth, S.; Prain, V. and Tyler, R. (2011). Drawing to learn in Science. *Science* 333, pp. 1096–1097.
- Anderson, G. (2017). *Drawing as a way of knowing in Art and Science*. Bristol: Intellect.
- Anderson, G., Dupré J. & Wakefield J. (2019). "Drawing and the dynamic nature of living systems". *Elifesciences.org*. Accessible at: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC6436894/>
- Barany, M. J. & MacKenzie, D. (2014). "Chalk: Materials and Concepts in Mathematics Research". In Coopmans, C., Vertesi, J., Lynch, M. & Woolgar, S., (Eds.) *Representation in Scientific Practice Revisited*. Cambridge, Massachusetts; London, England: The MIT Press.
- Bismarck, M. (2018). "Desenhos e anatomias". In Ferraz, A. R. (Ed.) *Hernâni Monteiro Figura eminente da U. Porto*. Porto: U. P. Edições.
- Bruhn, M. (2015). "Behind the Icons of Knowledge: Artistic Styles and the Art History of Scientific Imagery". in Bredekamp, H.; Dünkel, V.; Schneider, B. (Eds.). *The Technical Image*. Chicago: The University of Chicago Press, pp. 36–45.
- Coopmans, C., Vertesi, J., Lynch, M. & Woolgar, S. (2014). *Representation in Scientific Practice Revisited*. Cambridge, Massachusetts; London, England: The MIT Press.
- Goethe, J. (1980). "Goethe on Art. Selected, edited and translated by John Gage". Berkeley: University of California Press.
- Kantrowitz, A. (2012). "The man behind the curtain: what cognitive Science reveals about drawing". *The Journal of Aesthetic Education*, Vol. 46, Number 1.
- Lyons, L. (2012). "Drawing your way into understanding". *Tracey – Drawing and Visualization Research: Drawing Knowledge*. Loughborough: Loughborough University. Accessible at: https://www.lboro.ac.uk/microsites/sota/tracey/journal/edu/2012/PDF/Lucy_Lyons-TRACEY-Journal-DK-2012.pdf
- Massironi, M. (1982). *Ver pelo desenho*. Lisboa: Edições 70.
- OCR (2015). *A Level Biology Drawing Skills – Biological Drawing*. Cambridge: Cambridge University Press & Assessment. Accessible at: <https://www.ocr.org.uk/qualifications/as-a-level-gce-biology-a-h020-h420-from-2015/delivery-guide/Images/123-287412-drawing-skills-booklet-handbook.pdf>
- Petherbridge, D. (2021). "Drawing as Empowerment" [photocopied document]. Opening remarks to the DRAWNinU Kick-off Meeting – Drawing across Borders in University project, 20 December 2021, FBAUP.
- Pratschke, M. (2015) "Interacting with Images – Toward a History of the Digital Image: The Case of Graphical User Interfaces", in Bredekamp, H.; Dünkel, V. Schneider, B. (Eds.) *The Technical Image*. Chicago: The University of Chicago Press, pp. 48–61.
- Quillin, K.; Thomas, S. (2015). "Drawing-to-Learn: A Framework for Using Drawings to Promote Model-Based Reasoning in Biology". *CBE-Life Sciences Education*. Vol. 14(1), pp. 1–16.
- Salazar, A. (1932). "Procédé Rapide de Dessin Microscopique." *Separata Folia Anatomica*. Universitatis Conimbricensis. Vol. VII (12).
- Valéry, P. (1965). *Degas, danse, dessin*. Paris: Gallimard.
- Wu, S. P. W., e Rau, M. A. (2019). "How Students Learn Content in Science, Technology, Engineering, and Mathematics (STEM) Through Drawing Activities". *Educational Psychology Review*, 31(1), p. 87–120.

3- Caule da Figueira (Ficus carica)

20



- 1- Suber
 - 2- Felogénio
 - 3- Feloderma
 - 4- Colênquima
 - 5- Parênquima
 - 6- floema Secundário
 - 7- Iniciais fusiformes
 - 8- Iniciais do Raio
 - 9- Medula
 - 10- Protoxilema
 - 11- Metaxilema
 - 12- Vasos
 - 13- Traqueídeos
 - 14- Raio do xilema secundário
 - 15- Raio do floema secundário
- Periderme (1, 2, 3)
 córtex (4, 5)
 câmbio vascular (7, 8)
 Xilema primário (10, 11)
 Xilema secundário (12, 13)

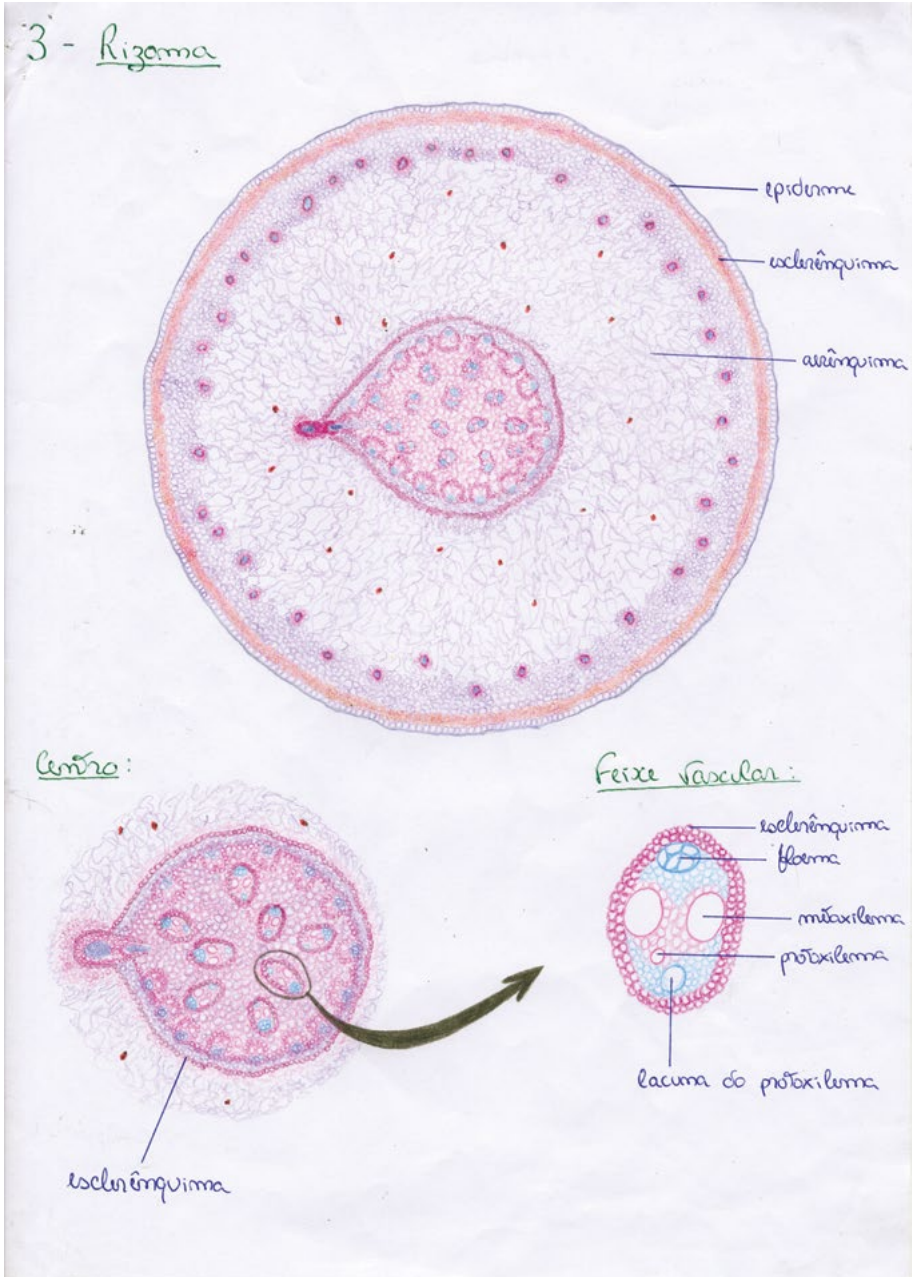
1 *Caule de Figueira (página de Relatório) / Fig Stem (page of Report)*

Andreia Silva, 2022

Esferográfica, lápis de cor e grafite sobre papel / Ballpoint pen,

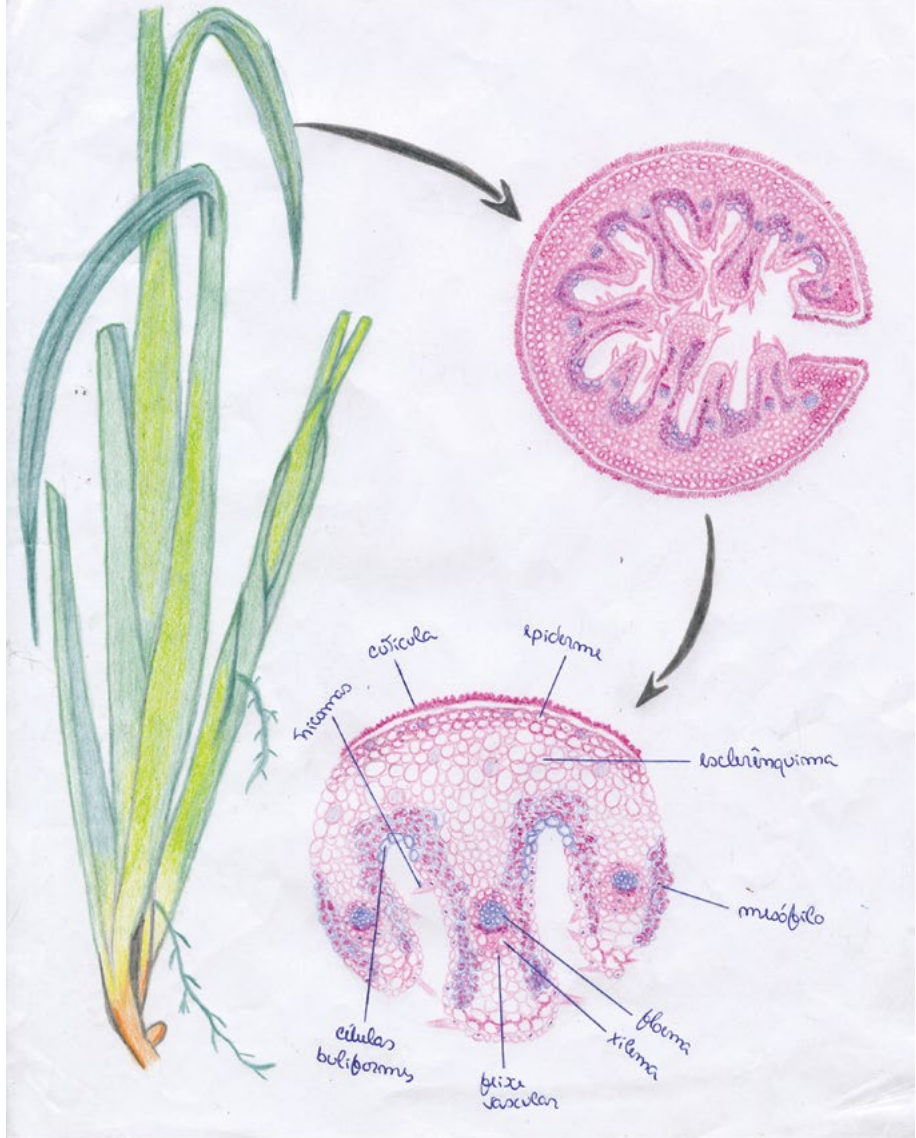
colour pencil and graphite on paper, 29,7 x 21 cm

Ciências do Meio Aquático / Aquatic Sciences, ICBAS



- 2 *Rizoma (página de Relatório 3) / Rhizome (page of Report 3)*
 Andreia Silva, 2022
 Esferográfica, lápis de cor e grafite sobre papel / Ballpoint pen,
 colour pencil and graphite on paper, 29,7 x 21 cm
 Ciências do Meio Aquático / Aquatic Sciences, ICBAS

2 - Ammophila arenaria - folha



3 *Folha de Ammophila Arenaria (página de Relatório 2)*

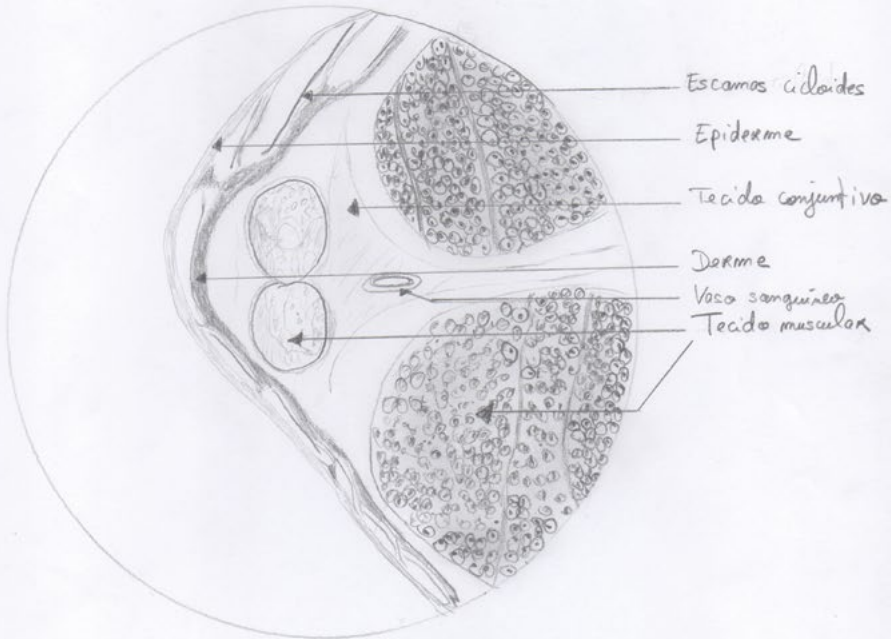
/ Ammophila Arenaria leaf (page of Report 2)

Andreia Silva, 2022

Esferográfica, lápis de cor e grafite sobre papel / Ballpoint pen, colour pencil and graphite on paper, 29,7 x 21 cm

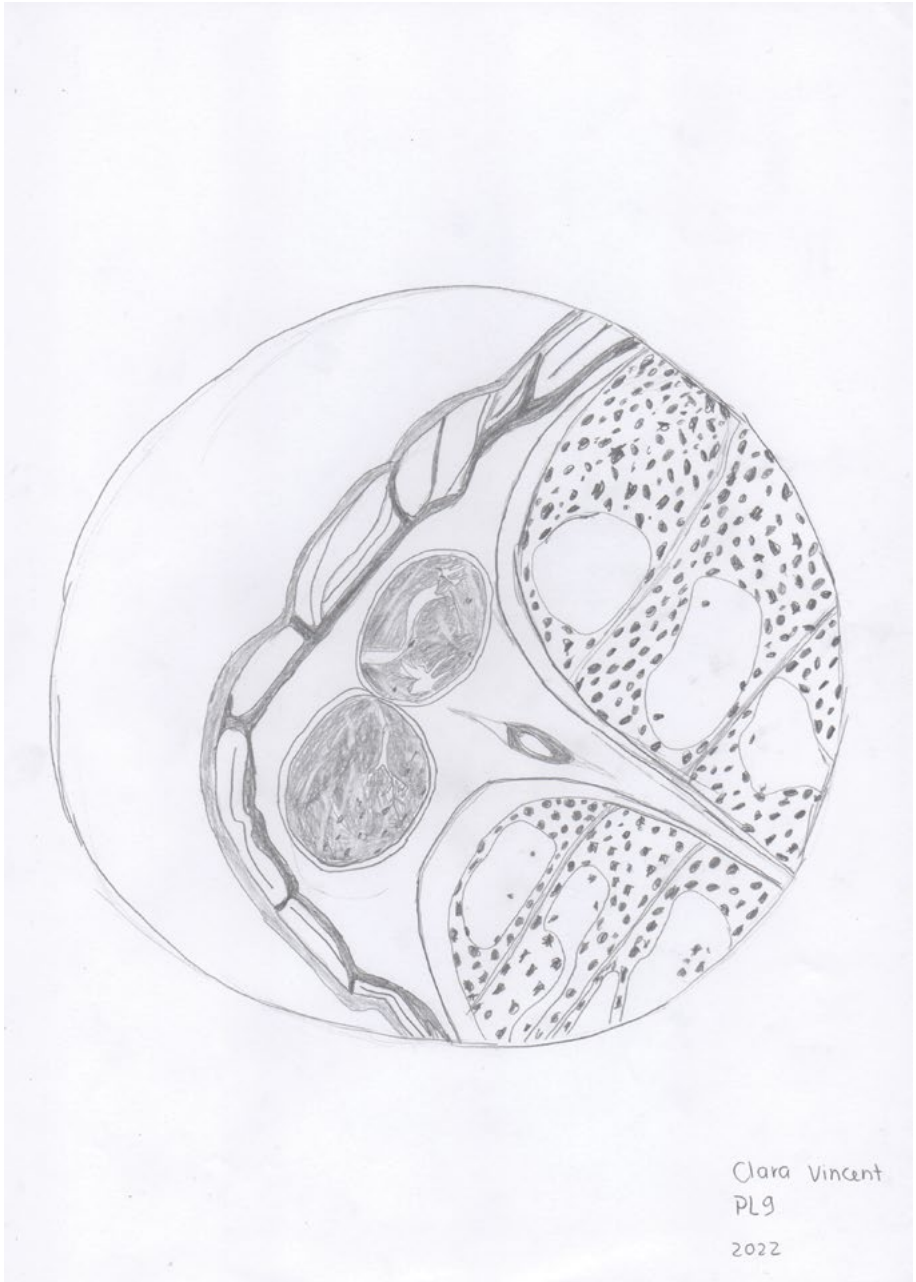
Ciências do Meio Aquático / Aquatic Sciences, ICBAS

Corte transversal da região dorsal de um Osteíctio

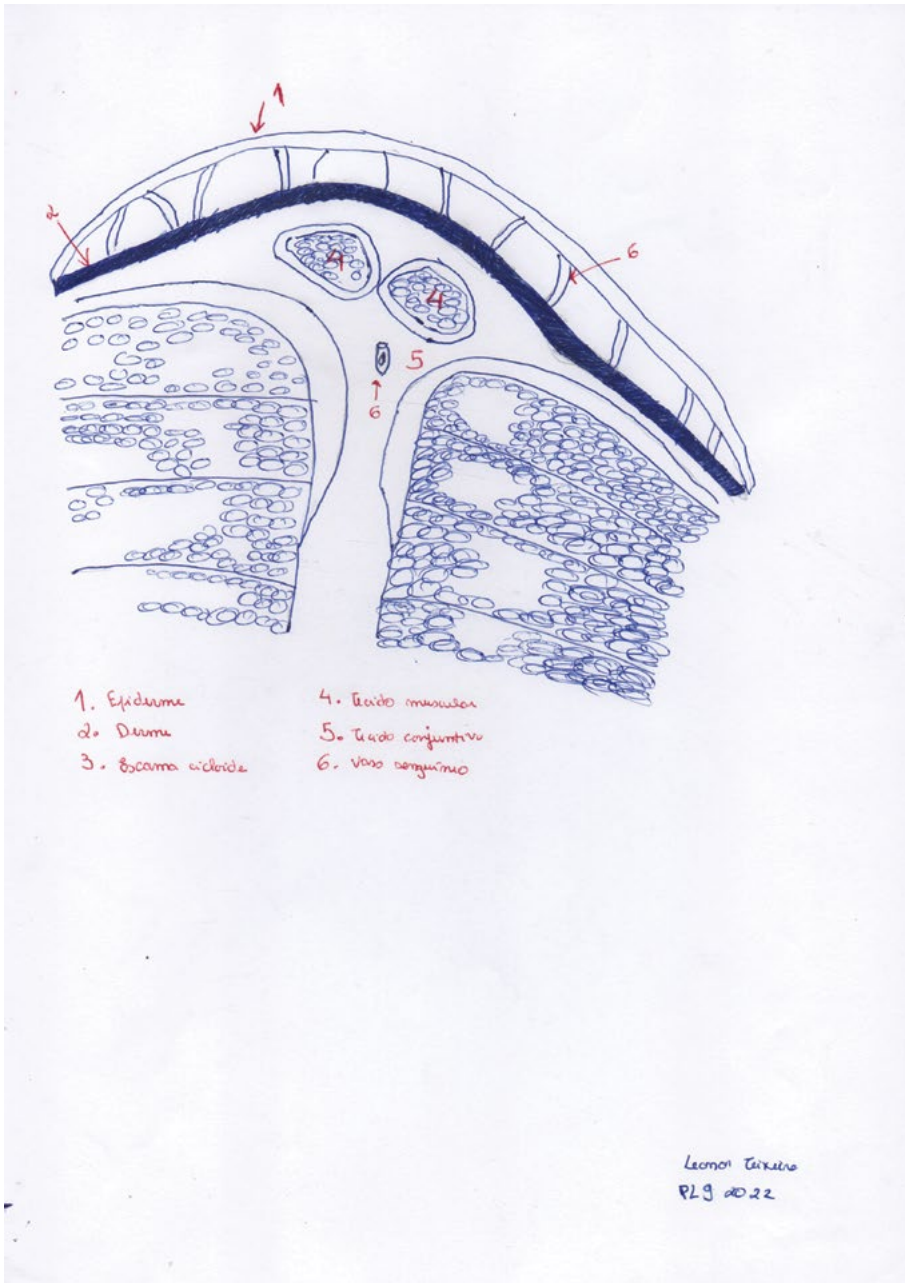


Anne Flores Pollice
PL9
2022

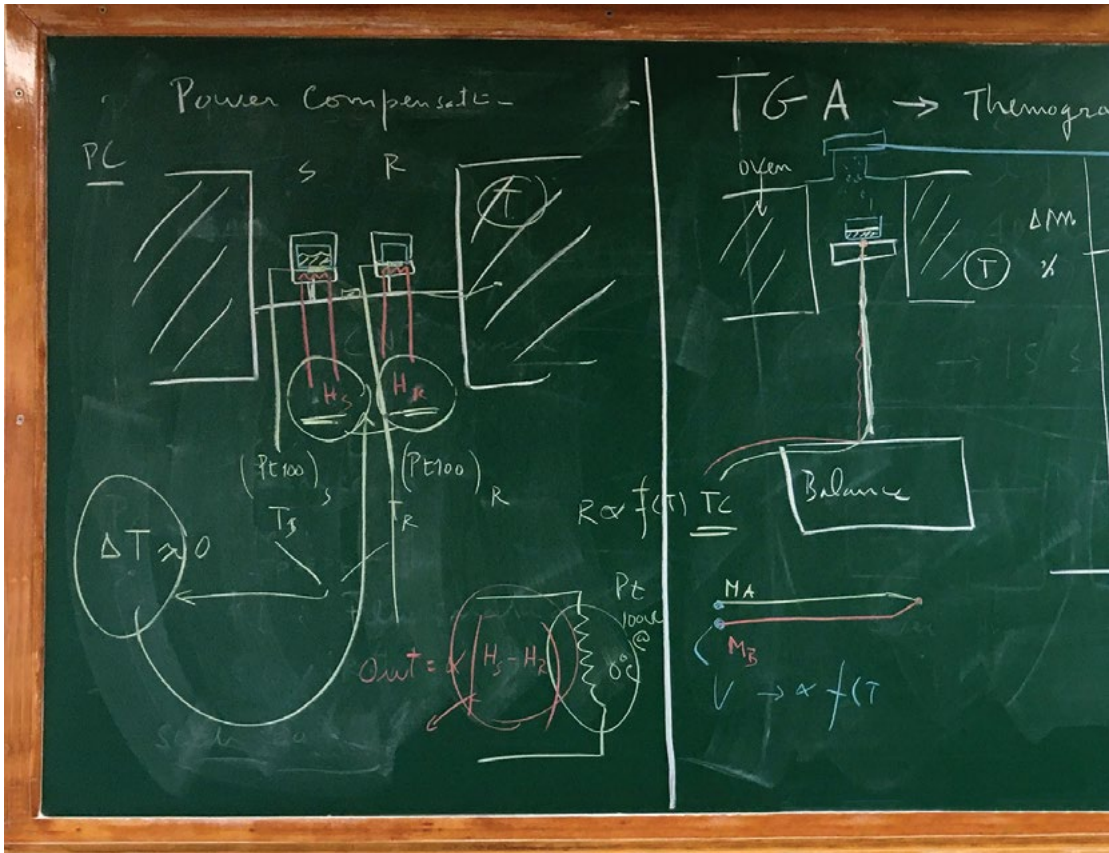
- 4 *Corte transversal da região dorsal de um Osteíctio*
/ *Cross section of the dorsal region of an osteitis*
Anne Pollice, 2022
Grafite sobre papel / Graphite on paper, 29,7 x 21 cm
Biologia / Biology, FCUP



- 5 *Tegumento osteóclito / Osteitis integument*
Clara Vincent, 2022
Grafite sobre papel / Graphite on paper, 29,7 x 21 cm
Biología / Biology, FCUP



- 6 *Tegumento osteíctio / Osteitis integument*
 Leonor Teixeira, 2022
 Esferográfica azul e vermelha sobre papel
 / Blue and red Ballpoint pen on paper, 29,7 x 21 cm
 Biologia / Biology, FCUP



- 8 *Aula sobre calorimetria diferencial de varrimento (DSC) e termogravimetria (TGA). Como funciona e o que podemos medir e explorar / Lesson on differential scanning calorimetry (DSC) and thermogravimetry (TGA). How does it work and what can we measure and explore*

Prof. Luís Belchior Santos, s.d.

Giz branco e vermelho sobre quadro de aula

/ White and red chalk on blackboard, 120 x 330 cm

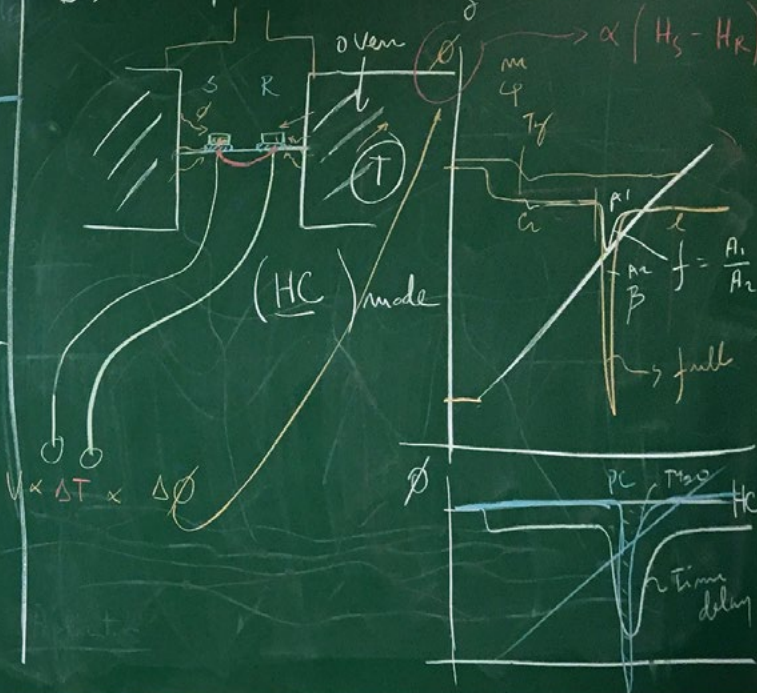
Departamento de Química e Bioquímica

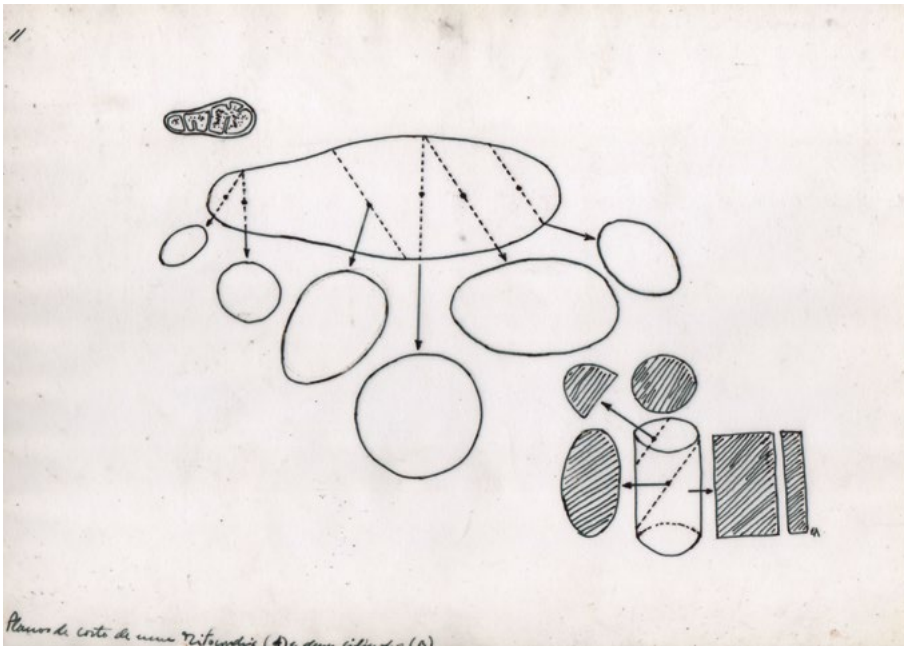
/ Department of Chemistry and Biochemistry, FCUP

Thermometric Analysis

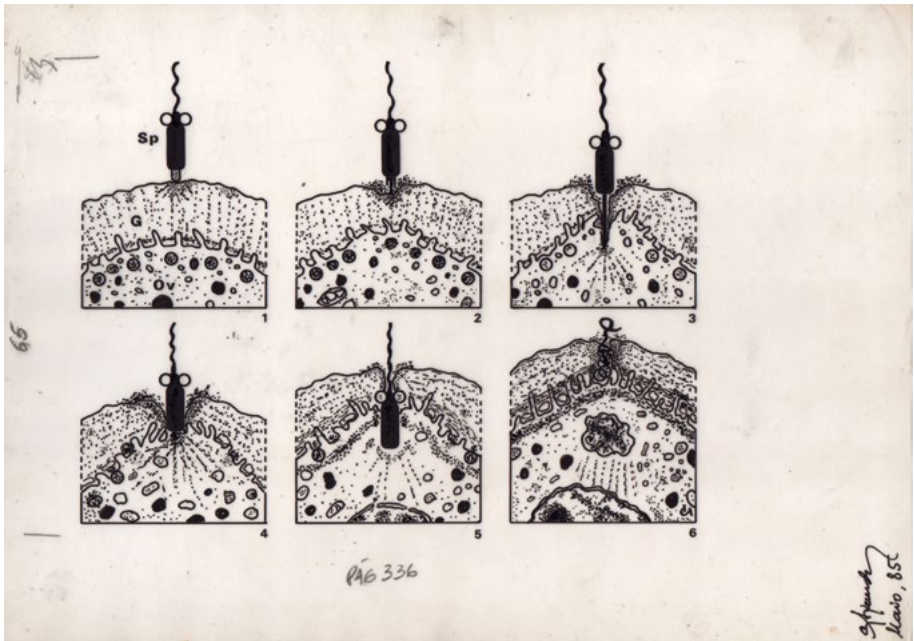


DSC - Differential Scanning Calorimeter





- 9 *Plano de corte de uma mitocôndria e de um cilindro*
 / *Sectional plan of a mitochondrion and a cylinder*
 Prof. Carlos Azevedo, s.d.
 Tinta-da-China sobre papel vegetal / Ink on tracing paper, 21 x 29,7 cm
 Departamento de Microscopia / Department of Microscopy, ICBAS

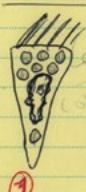
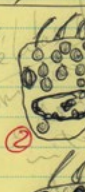
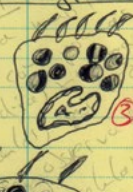
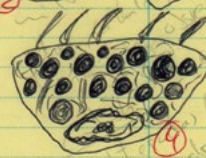


10 *Fertilização: sequência das fases de penetração*
/ Fertilisation: sequence of penetration phases

Prof. Carlos Azevedo, 1984

Tinta-da-China sobre papel vegetal / Ink on tracing paper, 21 x 29,7 cm
 Departamento de Microscopia / Department of Microscopy, ICBAS

REGISTO DAS ELECTROMICROGRAFIAS

ORDEM N.º	NEGATIVO N.º	BLOCO N.º	MATERIAL / MÉTODOS	OBSERVAÇÕES
1	38 789		<i>Aplysia salivares</i>	
2	90			
3	91		<u>3191 B</u>	
4	92			
5	93			
6	94			
7	95		<u>Evolução das células granulares</u>	
8	96			
9				
10				
11				
12				
13				
14				
15				
16				
17				
18				
19				
20				
21				
22				
23				
24				
25				

Obs.: Se fizer mais do que 10 fotografias, ou deixar menos de 10 negativos no ME, revele os negativos (20^º-4^º).

Utilizei o ME durante 1 horas.

O Investigador

Fiz 8 fotografias.

do Laboratório

Data / /

11 *Folha de observação ao microscópio / Microscope observation sheet*

Prof. Alexandre Lobo da Cunha, s.d.

Esferográficas preta e vermelha sobre papel

/ Black and red ballpoint pen on paper, 29,7 x 21 cm

Departamento de Microscopia / Department of Microscopy, ICBAS

Biologia Celular
INSTITUTO DE CIÊNCIAS BIOMÉDICAS DE ABEL SALAZAR

ICBAS
Microscopia
Electrónica

Largo do Prof. Abel Salazar, 2 4050 PORTO Tel. (022) 31 03 59 Fax. (022) 200 19 18
UNIVERSIDADE DO PORTO

REGISTO DAS ELECTROMICROGRAFIAS				
ORDEM N.º	NEGATIVO N.º	BLOCO N.º	MATERIAL / MÉTODOS	OBSERVAÇÕES
1	68587		Agloja	
2	588		3788B esq.	
3	589		Salivares	
4	90		Zona media	
5	71			
6	92			
7	93			
8	94			
9	95			
10	96			
11	97			
12	98			
13	99			
14	68, 600			
15	601			
16	602			
17	603			
18				
19				
20				
21				
22				
23				
24				
25				

Obs.: Se fizer o teste e não tiver o suficiente para deixar menos de 10 negativos no ME, revele os negativos (20x)

Utilizei o ME durante <u>2</u> horas.	O Investigador <u>ALC</u>
Fiz <u>17</u> fotografias.	do Laboratório _____
Data <u>18, 3, 08</u>	

12

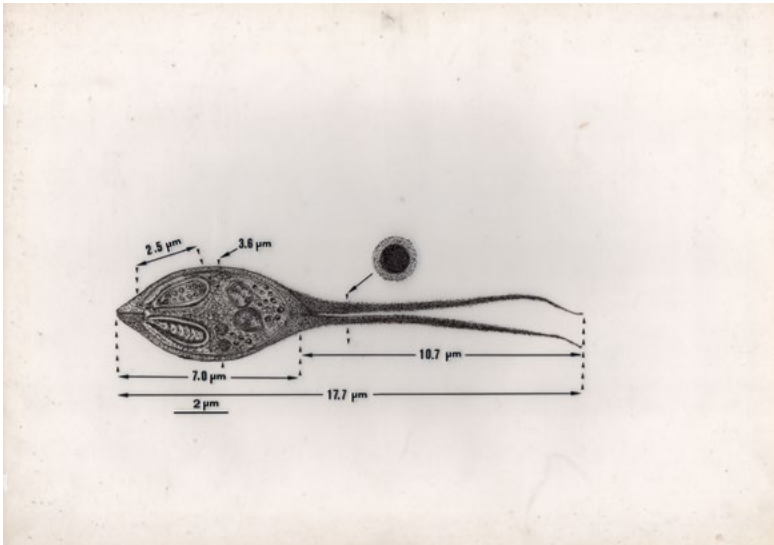
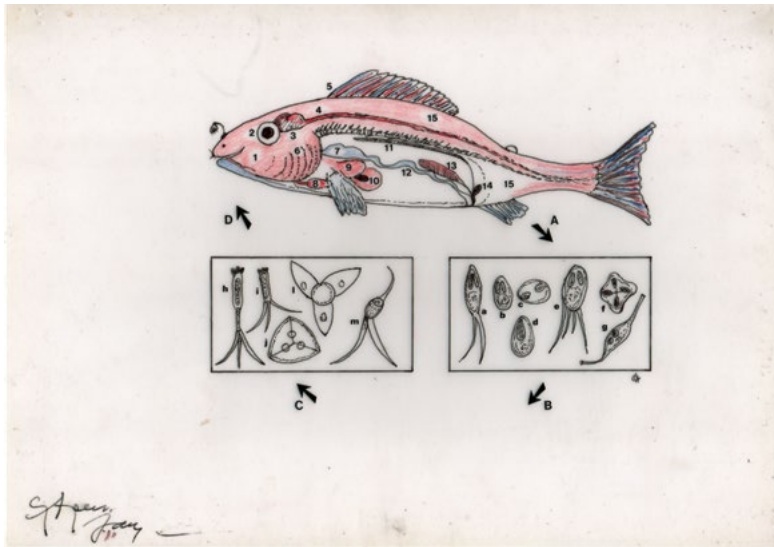
Folha de observação ao microscópio / Microscope observation sheet

Prof. Alexandre Lobo da Cunha, 2008

Esferográfica preta e caneta preta e vermelha sobre papel /

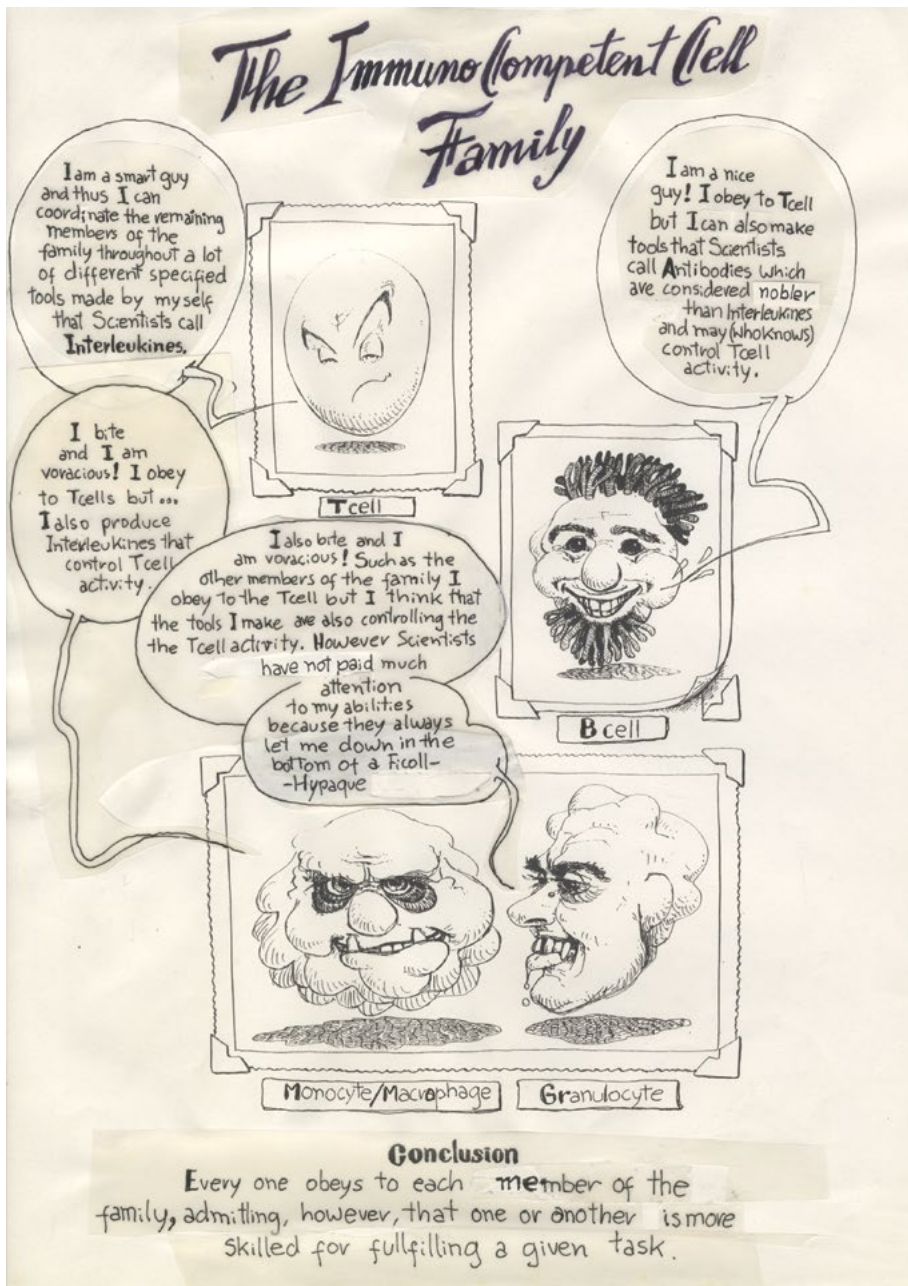
Black ballpoint pen black and red marker pen on paper, 29,7 x 21 cm

Departamento de Microscopia / Department of Microscopy, ICBAS



- 13 *Ciclo de vida de microparasitas do filo Cnidaria (Myxozoa)*
/ Life cycle of microparasites of the Cnidaria (Myxozoa) phylum
 Prof. Carlos Azevedo, s.d.
 Tinta-da-China e lápis de cor sobre papel vegetal
/ Ink and colour pencil on tracing paper, 21 x 29,7 cm
 Departamento de Microscopia / Department of Microscopy, ICBAS

- 14 *Myxosporo do género Henneguya, microparásita do filo*
Cnidaria (Myxozoa) / Myxospore of the Henneguya genus,
a microparasite of the phylum Cnidaria (Myxozoa)
 Prof. Carlos Azevedo, s.d.
 Tinta-da-China sobre papel vegetal / Ink on tracing paper, 21 x 29,7 cm
 Departamento de Microscopia / Department of Microscopy, ICBAS



- 15 *Página do álbum de fotos da família das células imunocompetentes. Prancha de trabalho de "Imunologia em Cartoon" / Immunocompetent cell family photo album page. Working sketch of "Cartoon Immunology" Jorge Carneiro, 1989*

Caneta sobre papel vegetal e colagem sobre papel
/ Pen on tracing paper and collage on paper, 29,7 x 21 cm
ICBAS



- 16 *Desgraçado do antigénio. Prancha de trabalho de "Imunologia em Cartoon"*
/ Poor antigen. Working sketch of "Cartoon Immunology"
Jorge Carneiro, 1989
Caneta e colagem sobre papel / Pen and collage on paper, 29,7 x 42 cm
ICBAS

*Organizar a complexidade.
As anotações gráficas e verbais como recursos
de sintetização e memorização*

Cláudia Amandi

De forma sumária, apontamentos são anotações de algo que se viu, ouviu ou leu. Geralmente de caráter resumido, auxiliam a recordar ou memorizar. São um meio fundamental para cada estudante, particularmente se tiver de lidar com grandes quantidades de informação e que exigem capacidade de síntese na organização dos conteúdos.

Na sua elaboração, é possível observar que há estudantes que recorrem ao uso do desenho a par das anotações escritas. A partir da observação de apontamentos de três estudantes de Medicina do Instituto de Ciências Biomédicas Abel Salazar (ICBAS), iremos analisar de que forma o uso do desenho pode ser um recurso convergente para estruturar conteúdos. Nesse sentido, colocam-se algumas questões centrais.

Porque é que a estudante escolhe utilizar o desenho para entender, organizar e sintetizar conhecimento? Existem vantagens na colaboração entre desenho e escrita?

Os estudantes foram unânimes quanto à razão principal do uso do desenho – porque facilita a memorização da matéria. Assim sendo, de que forma o desenho auxilia a memorização?

Os apontamentos

Estes apontamentos pertencem a três estudantes e referem-se a matérias lecionadas no primeiro e segundo ano nas Unidades Curriculares de Anatomia Sistemática I e II (primeiro ano), Anatomia e Fisiologia do Sistema Nervoso (segundo ano) e Imunologia (segundo ano) entre os anos de 2018 e 2020.

De Tomás Araújo apresenta-se um caderno A4 relativo a Anatomia Sistemática I, realizado no ano letivo de 2018-2019, com exemplos de osteologia, artrologia e miologia.

De Gabriela Azevedo, apresentam-se apontamentos avulsos em folhas A4 relativos a Anatomia Sistemática I e II, realizados no ano letivo de 2019-2020 e também um caderno A4 relativo a Anatomia e Fisiologia do Sistema Nervoso no ano letivo 2020-2021.

De Rita Amaral, apresentam-se apontamentos avulsos em folhas A4 relativos a Anatomia e Fisiologia do Sistema Nervoso (com exemplos de Neuroanatomia) e também Imunologia, ambos realizados no ano letivo de 2018-2019.

Semelhanças e diferenças

Estes estudantes não tiveram familiaridade com o desenho no ensino secundário ou no ensino superior onde atualmente estudam. Os apontamentos são realizados para estudar matéria para exame. Todos os estudantes utilizam o desenho em relação direta com a escrita como metodologia de construção desses apontamentos, havendo variação no tamanho do desenho relativamente ao tamanho do suporte. Os desenhos normalmente reproduzem ilustrações e esquemas já existentes em livros da especialidade e tendem a ser construídos primeiramente a lápis e depois passados a tinta. A relação entre desenho e palavra é realizada pelo uso de setas e/ou traços que permitem identificar o todo ou partes – da forma ou do esquema – com nomes, ações ou características. A cor é introduzida em alguns dos apontamentos, não só para evidenciar determinada parte da forma que está em estudo, como também para criar associações concretas entre partes da forma e/ou esquema, com elementos escritos que têm a mesma cor.

Os apontamentos realizados para Anatomia Sistemática I e II, uma vez que se centram no estudo *completo e detalhado da morfologia dos órgãos e da estrutura do corpo humano*¹ são bastante eloquentes quanto às formas desenhadas. Embora os desenhos pertençam a dois estudantes diferentes, apresentam semelhanças no modo como são construídos. Graficamente simplificados, a maioria das ilustrações mantêm em parceria o uso da linha, da trama e por vezes da mancha, que contribuem para uma melhor localização das partes e fornecem uma interpretação mais tridimensional (Fig. 1, Fig. 2).

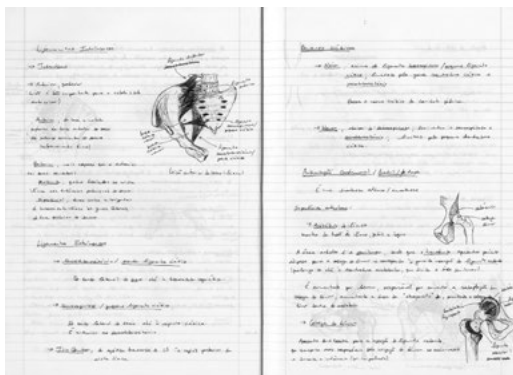


Fig. 1 – *Articulação Sacro-iliaca: ligamentos extrínsecos; Articulação Coxofemoral*, Tomás Araújo, 2018.

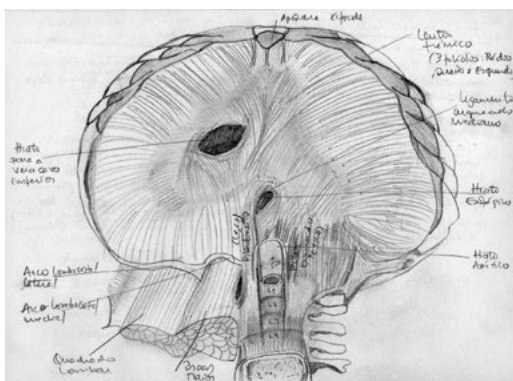


Fig. 2 – *Unidade Curricular Anatomia Sistemática I*, Gabriela Azevedo, 2019-20.

1 Programa da Unidade Curricular *Anatomia Sistemática II*, 1º ano, 2º semestre, ICBAS, Sigarra, 2022.

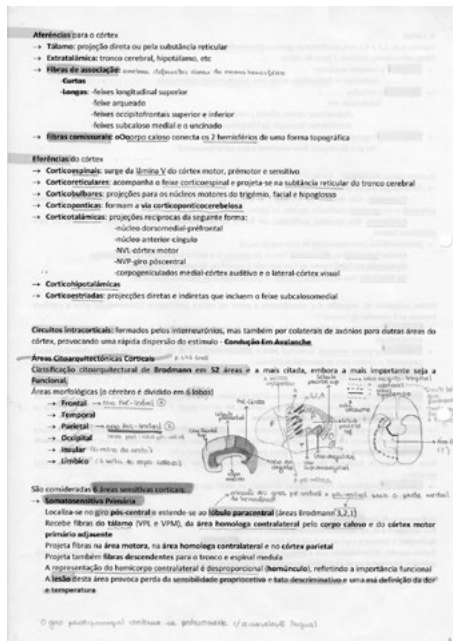


Fig. 3 – *Neuroanatomia – Anatomia e Fisiologia do Sistema Nervoso*, Rita Amaral, 2018-19.

Nos apontamentos de Anatomia e Fisiologia do Sistema Nervoso, alguns dos desenhos mantêm as mesmas características gráficas mencionadas, possibilitando identificar várias camadas morfológicas tridimensionais; e outros, revelam uma síntese linear mais apertada e planificada. Por exemplo, é utilizado um contorno interior e exterior para delimitar diferentes áreas morfológicas do cérebro, que por sua vez são parcialmente cobertas com diferentes cores, linhas ou pontos (Fig. 3). Para além destes apontamentos pertencerem a estudantes distintos, as características do problema exigem diferentes abordagens que facilitem a interpretação.

Observamos nestes apontamentos (de “Anatomia Sistemática I e II” e “Anatomia e Fisiologia do Sistema Nervoso”) que a dimensão dos desenhos é geralmente menor que a informação escrita ou então a dimensão de ambos (desenho e escrita) é muito idêntica no tamanho ocupado da folha. De uma forma geral, poderemos afirmar que, nestes casos, o desenho permite visualizar, localizar e especificar características morfológicas que a escrita complementa, nomeando essas partes e acrescentando informação adicional.

No entanto, esta relação dimensional - entre desenho e escrita - é visivelmente alterada nos apontamentos realizados para Imunologia, ou seja, a dimensão gráfica é muito superior à escrita. Numa ordem celular, procuram-se entender padrões e estruturas do sistema imunológico em atividade. Na complexidade das ações e intervenientes dos contextos específicos (por exemplo, o “Complexo Principal de Histocompatibilidade Classe I e II”, ou “Recetores do tipo Toll”), percebemos que o desenho tem um papel indispensável para compreender a sequência e a variedade dessas ações. A organização gráfica é muito simplificada, fazendo uso de esquemas para visualizar uma atividade orgânica de grande complexidade entre todos os intervenientes. No uso exclusivo da linha, desenhavam-se relações entre formas geométricas como círculos, retângulos ou quadrados, cilindros e outras formas curvilíneas, setas e chavetas. A cor, inserida em alguns destes elementos, distingue ações e relaciona-se, na maioria, com as notas escritas (Fig. 4 e 5).

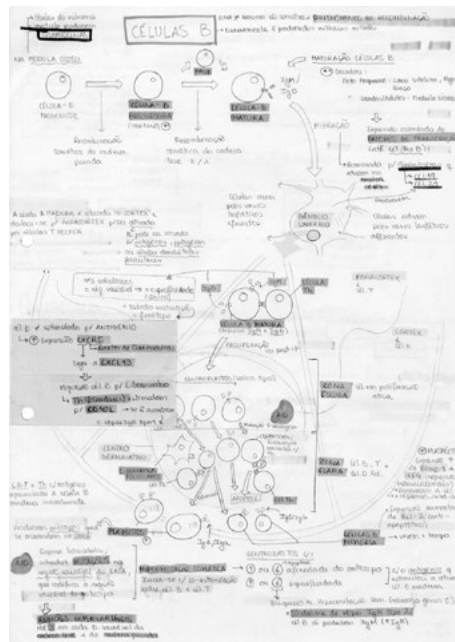


Fig. 4 - Diferenciação de células B - Imunologia, Rita Amaral, 2018-19.

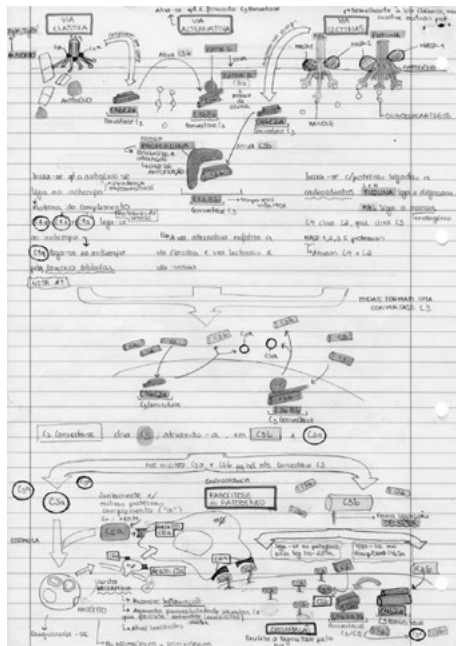


Fig 5 – Vias de ativação do Sistema Complemento – Imunologia, Rita Amaral, 2018-19.

Deixamos de reconhecer elementos do nosso corpo, como ossos ou músculos, para entrar num universo que não é visível a olho nu, nem reconhecível para um leigo. O modo disseminado como o desenho vai ocupando as folhas, indica que a construção destes apontamentos de Imunologia começa pelo desenho. Só é possível entender esses “Complexos” ou “Recetores” pela cadeia de relações que os vários elementos gráficos vão formalizando entre si. O raciocínio torna-se visível, adquire dimensão formal e a abstração das ações torna-se concretizável e passível de ser observada para perceber se falta alguma das partes.

É nítido que cada contexto de estudo necessita de uma relação diferente entre desenho e escrita (por exemplo, osteologia e imunologia), para além, naturalmente do modo particular como cada estudante entende ser a forma mais adequada para estudar. No entanto, é nítido que todos se envolvem em operações gráficas diferenciadas que os ajudam a visualizar, organizar e sintetizar o conhecimento. Ou seja, a relação que encontram entre desenho e palavra, permite-lhes criar uma estratégia de memorização – fundamental para a preparação para o exame – através de um processo de estudo que os ajuda a localizar

“coisas”, a identificar relações ou sequências, a interpretar características e ver se “funcionam”. Na prática, estas operações implicam seleção e ordenação da informação de modo a que o estudo tenha uma organização que lhes permita clarificar e sintetizar a complexidade.

Isto significa que desenhar, neste contexto, não se trata meramente de copiar uma imagem já existente. O tempo é escasso, a matéria é muita e os estudantes têm ao seu dispor muitas ilustrações científicas pelas quais podem estudar.

Le dessin est la précision de la pensée

Henri Matisse (1972)

Desenhar não representa, portanto, apenas a obtenção de uma imagem que será legendada, mas inclui ativamente no processo de estudo, o processo de a fazer. A sua execução implica perceber o que se deseja daquele desenho – que forma deverá ter, que sequência de elementos deverá ter atenção, que dimensões, que características morfológicas específicas ou ações, que materiais, que manipulação gráfica, etc. Ou seja, cada estudante vai estabelecer uma relação entre o que quer perceber, com o modo como o vai visualizar e localizar, denominando-se essas imagens de *Imagens Concetuais* (Almeida, 2002, p.2). Como Paulo Freire de Almeida explica, em oposição às *Imagens Percetuais*², as *Imagens Concetuais* “interpretam a realidade, selecionando e valorizando determinados aspetos, segundo critérios que transformam a informação ótica em configurações abstratas em grau variável. Este tipo de imagem corresponde a uma abordagem cognitiva, onde são ativados juízos e conceitos de seleção sob as formas observáveis. (...) Sobre este tipo de representação é habitual dizer-se que o autor desenha o ‘que sabe’ e não ‘o que vê’, atribuindo aos conceitos um papel mediador entre a imagem natural e a imagem gráfica” (2002, p.2-3). Este processo cognitivo mantém-se intenso ao longo da execução dos

2 *Em termos simples, podemos dizer que a representação perceptual se baseia no registo passivo de informação luminosa numa superfície fotossensível como uma lente fotográfica ou a retina. Pontos de luz imprimem no nervo ótico ou no negativo, um conjunto de marcas cuja reconstituição oferece uma cópia das aparências do mundo físico. Essa imagem preserva as aparências dadas pela natureza, sem que necessariamente, o recetor tenha algum conhecimento ou opinião sobre aquilo que está a registar* (Almeida, 2002, p. 2).

apontamentos porque os resultados dependerão das capacidades de percepção, associação, atenção, raciocínio e memória do próprio estudante. Nikolaus Gansterer denomina este processo de “fazer sentido” (Gansterer, 2017, p.21), e de facto, o modo como o estudante vai organizando a informação gráfica e escrita, corresponde a uma mediação da importância que ambas detêm para os apontamentos funcionarem.

The cognitive act of perceiving, translating and allocating occurs continuously when we compose thoughts and receive or process information. This process of sense-making always happens by establishing relations and through drawings connections. (...) Since drawing mediates between perception and reflection, it plays a constitutive role in the emergence, production and communication of knowledge. From my perspective, the genesis of ideas is often directly connected with graphical thinking (Gansterer, 2017, pp. 20- 21).

Isto significa que a relação que cada estudante encontra entre desenho e palavra, permite-lhe desenvolver uma estratégia para pensar enquanto faz – para sintetizar o conhecimento é preciso clarificá-lo e entender o seu grau de relevância. Nesta articulação vai ter de ir decidindo sobre o que fica e o que sai, para conseguir obter uma organização estruturada e sintética desse conhecimento. Ou seja, permite-lhe pensar sobre o conhecimento que está a estudar, se o compreende e como deve articulá-lo para melhor o memorizar. Neste contexto, a ideia de “fazer sentido” (Gansterer, 2017, pp. 20-21), converge para o que o historiador de arte Max Friedländer (1867-1958) descreve como “pensar alto”:

The art historian Max Friedländer once described drawing as representing an artist’s internal monologue or ‘thinking aloud’. In this conversation between the artist and their thoughts the page acts as a sounding board for ideas, allowing them to be both articulated and tested (Seligman, 2016, p. 12).

Ou seja, o desenho pode ser um meio para *pensar alto*, e nestes casos, pensar conceitos já existentes, não só porque ao realizá-los (os desenhos) a estudante está a visualizar esse conhecimento, mas também porque o próprio processo de execução dos apontamentos, a sua experiência, implica-a numa atividade de escolhas que *façam sentido*. A sua realização não é, portanto, um processo linear. A estudante terá de ir decidindo sobre aquilo que está a desenhar – as escolhas gráficas

têm de adequar-se da melhor maneira às características concetuais da forma desenhada. Manfredo Massironi apelida este processo de “ênfatismo e exclusão” e que permite tornar os desenhos operativos, ou seja, funcionais para a tarefa que devem cumprir:

(...) diferentes são as passagens actantes de quem tem de construir esses ícones – de quem, portanto, tem de escolher entre o que vale a pena ser apresentado e o que pode ser descurado. Sobre esta corda suspensa entre ênfatismo e exclusão, move-se o desenhador (...). Se essa finalidade, por exemplo, consiste em descrever, numa gravura anatómica, uma parte do sistema muscular, resultarão secundárias a expressão do rosto ou a atitude da pessoa, mas se o objectivo é ilustrar uma cena de género a expressão do rosto ou a postura do corpo adquirem um valor primeiro em relação ao sistema muscular.

O exemplo é muito esquemático e levado ao extremo, mas por agora consegue fazer-se compreender como a intenção final para que tende o gráfico o obrigou a escolhas contínuas em função da comunicação que quer transmitir (Massironi, 1982, pp. 72-73).

Neste excerto, Massironi usa como exemplo o processo de realização de ilustrações de cariz científico, ou seja, as mesmas (no que toca ao contexto) que estes estudantes utilizam como base para realizarem as suas próprias ilustrações. Podemos argumentar que, tratando-se de cópias, este processo de ênfatismo e exclusão não acontece. Pelo contrário, a estudante realiza estes desenhos porque precisa de entender, localizar e memorizar *aquela* conhecimento e, portanto, utiliza as ilustrações originais, destacando partes e excluindo o que sabe que não é relevante. O carácter seletivo desta operação gráfica permitirá uma memória experienciada do assunto. Repetirá uma imagem já existente, mas terá que a construir ou reconstruir a partir de uma abordagem que a implica em escolhas. Não obterá, portanto, a ilustração original pela qual estuda, mas antes uma organização gráfica e verbal que envolve um certo grau de transformação.

*Le dessin n'est pas la forme,
il est la manière de voir la forme*
Edgar Degas (citado por Valéry, 1938)

Por outro lado, como já tivemos oportunidade de referir no início, damos conta que a proximidade criada entre estes elementos (gráficos e verbais) tem uma determinada ordem ou sequência. Por vezes o desenho ocupa praticamente toda a folha (Fig. 1), como se fosse necessário ampliar para melhor entender a relação entre as partes. Outras vezes distribui-se numa relação mais equitativa entre desenho e palavra (Fig. 2 e 3), como se cada elemento desenhado surgisse em sequência do que é escrito ou vice-versa, ou então o desenho expande-se em movimentos específicos por toda a folha (Fig. 4, 5, 7, 8 e 9) como se o desenho fosse um mapa pelo qual o estudante segue um percurso à medida que o constrói. Ou seja, as folhas vão arrumando formas e palavras numa sequência de dimensão e proximidade escolhida pelo estudante. Um dos princípios da organização perceptiva das teorias da *Gestalt*, salienta o “Princípio da Proximidade” como sendo uma característica pela qual tendemos a organizar o que vemos e que nos permite, com maior facilidade, atribuir um contexto ou sentido:

We tend to organize proximal stimuli, if they are similar in shape, color, form, or lines, into patterns. Think of any art piece you have seen, either in this book or in a gallery, and analyze it in terms of proximity. It is likely that many images rely on proximity, which compels the viewer to ‘see’ the world in a certain predetermined way. (...) This universal mode of seeing (and hearing, tasting, smelling, and feeling) seems to be an integral, evolved component of the human nervous system – its main purpose being to usefully represent the physical world to a thinking creature. The creatures that performed these operations successfully were presumably more adaptive and more likely to procreate than those that didn’t (Solso, 1994, pp. 89-90).

A forma como estes apontamentos se distribuem na folha é importante para cada estudante porque apresentam uma disposição espacial que auxilia a organização do conteúdo gráfico e verbal. Nesta conjugação, este tipo de apontamentos permite compensar as inevitáveis limitações da memória humana³ e *tornar os pensamentos mais permanentes* (Tversky, 2002, p.1). Por outras palavras, esta parceria entre desenho e escrita poderá funcionar como estratégia mnemónica, oferecendo estruturas visuais sintéticas que ajudam a memorizar e a evocar.

“A memória é essencialmente um processo de associações e ligações que depende, em grande parte, de palavras e conceitos-chave adequadamente imaginados” descreve Tony Buzan (1996, pp. 80-81), o que implica que as mnemónicas exigem conceitos-chave e poder de síntese nos elementos escolhidos que ramificam esse conceito-chave. Buzan explica que estes *conceitos-chave*, funcionam como *ganchos associativos* (1996, p. 95) porque permitem reunir em torno deles, a restante informação que é necessário memorizar. Uma espécie de “temas principais” ao qual é possível agregar outros elementos:

Os temas principais funcionam como grandes ganchos que ‘agarram’ toda a informação. Por outras palavras, as perguntas e objetivos principais funcionam como centros associativos de ligação, aos quais toda a restante informação facilmente se aglutina (Tony Buzan, 1996, p. 136).

Na materialização gráfica do conhecimento, o estudante vai criando associações entre linhas, manchas, pontos, setas, formas tridimensionais e bidimensionais, com palavras e frases, alinhando, aproximando, salientando, etc. Neste contexto, os desenhos funcionam como “ganchos associativos que materializam sinteticamente o assunto e aglutinam a experiência da sua execução”. A estrutura normal das frases não é a melhor forma para relembrar imagens e ideias verbais, explica Buzan (1996, p. 96) porque a nossa memória não utiliza um *processo de correspondência palavra a palavra*. Ou seja, relembramos determinada situação, forma, filme, livro, etc., pela associação entre elementos-cha-

3 Vejam-se também alguns estudos que analisam a relação entre desenho e pensamento de Barbara Tversky do Departamento de Psicologia da Universidade de Stanford, entre eles *What Does Drawing Reveal about Thinking?*, 2002; ou *Why a diagram is (sometimes) worth ten thousand words*, 1987 de J.H. Larkin e H. A. Simon, investigadores de Ciências Cognitivas da Universidade Carnegie-Mellon.

ve a que Buzan chama de *Conceitos-Chave que esquematizam* (p. 96) os dados desse contexto. Isto significa que o uso de muitas palavras não auxilia a retenção da informação e, portanto, os apontamentos tradicionais que repetem os conteúdos de forma literal são uma estratégia pouco vantajosa para a memorização. Para se ter uma ideia mais concreta deste desajuste, Buzan refere alguns dados relevantes:

1. Perde-se tempo quando se registam palavras que não auxiliam a memória (perda calculada – 90%);
2. Perde-se tempo relendo as palavras desnecessárias (perda calculada – 90%);
3. Perde-se tempo à procura das Palavras-Chave para Relembrar, dado que estas normalmente não se distinguem das outras palavras, tendendo a misturar-se com elas;
4. As associações entre as Palavras-Chave são interrompidas pelas palavras que as separam. Funcionando a memória por associações, quaisquer interferências das outras palavras tornam as associações mais fracas;
5. As Palavras-Chave para Relembrar encontram-se temporalmente entremeadas pelas outras palavras: após a leitura de uma Palavra ou Frase-Chave serão necessários, pelo menos, alguns segundos para chegar à próxima. Quanto maior for o espaço de tempo que medeia entre as associações, menores as hipóteses de estabelecimento de associações adequadas;
6. As Palavras-Chave para Relembrar, encontram-se separadas no espaço pela distância existente, na página, entre elas. Tal como na questão relativa ao tempo, quanto maior for a distância que as separa, menor as hipóteses de estabelecimento de associações adequadas (Buzan, 1996, pp. 96-98).

Esta análise fará ainda mais sentido se pensarmos que não nos é possível armazenar no nosso cérebro imagens *completas* do que fazemos, vemos ou sentimos. Como António Damásio explica, seria incomportável para o cérebro reter, armazenar e aceder a tanta informação diferenciada. O que a nossa memória faz, explica Damásio, é reconstruir momentaneamente determinada informação a partir de vários fragmentos armazenados em diferentes partes do nosso cérebro (Damásio, 1994, p. 117). Também por isso, o que recordamos não é exatamente aquilo por que passamos na realidade, mas antes, “uma interpretação, uma nova versão reconstruída do original” como explica Damásio (1994, pp. 116-119).

Estas características parecem evidenciar que, de facto, a atividade gráfica associada à escrita pode auxiliar o estudante em determinados contextos para desenvolver processos de compreensão e memorização mais efetivos. A informação é sintetizada e visualizada

através de códigos gráficos e verbais que se relacionam espacialmente na folha. Nenhum deles funciona autonomamente, mas a disposição criada permite uma reconstrução mais aproximada do conhecimento que se pretende evocar.

Neste alinhamento, o estudo realizado por Myra A. Fernandes, Jeffrey D. Wammes e Melissa E. Meade do Departamento de Psicologia da Universidade de Waterloo, reforça a pertinência do desenho como mecanismo que auxilia a memória e sua evocação. Entre *ver imagens de palavras* ou *ver palavras escritas* o estudo já aponta para uma maior capacidade de memorização das palavras vistas por imagens. Este estudo revela também que a capacidade de memorizar palavras é muito superior *desenhando a palavra*, comparativamente com o *escrever a mesma palavra*. Isto significa que a experiência vivida na ação de desenhar tem uma influência significativa para a memorização da informação:

(...) When drawing, participants indeed must create a mental image of the word but also perform the mechanistic process of moving their pencil to create an image, which provides motor information, perhaps akin to a muted enactment effect. (...) Drawing facilitates retention, at least in part, because it requires elaboration of the meaning of the term and translating the definition to a new form (a picture) (Fernandes, Wammes & Meade, 2018, pp. 303-304).

Ou seja, as ações realizadas durante a execução do desenho, melhoram e enriquecem a capacidade de memorização do desenhador sobre esse assunto:

That is, to transfer a word into a drawn visual representation, one must elaborate on its meaning and semantic features, engage in the actual hand movements needed for drawing (motor action), and visually inspect one's created picture (pictorial processing). We argue that the mechanism driving the drawing effect is one that promotes the seamless integration of these codes, or modes of representation, into one cohesive memory trace, and it is this that facilitates later retrieval of the studied words (Fernandes, Wammes & Meade, 2018, p. 304).

O uso do desenho oferece imagens
com que a mente *quer* pensar

É possível observar, nestes exemplos, que o desenho adquire um papel principal no modo como se organiza e visualiza o estudo de algumas áreas do saber. A escrita não é suficiente.

Em cadernos ou folhas avulsas, com lápis de grafite e canetas de várias cores, estes estudantes desenhavam formas do corpo, atividades e sistemas celulares que depois a palavra nomeia e complementa o seu significado. As várias folhas de estudo – o resultado final – são fundamentais para que seja possível depois ler e reler, ver e rever, memorizar e evocar.

A afinidade que estabelecem entre o desenho e a escrita permite-lhes criar soluções para entenderem, organizarem e sintetizarem a diversidade de características morfológicas e funcionais que têm que estudar. Cumprindo esta tarefa, a qualidade gráfica do desenho não é relevante. A visualização sintética de determinado conhecimento, exigirá de cada estudante uma grande capacidade de abstração (da forma que desenha), raciocínio lógico (face ao seu significado), capacidade de atenção, associação, memória e flexibilidade cognitiva para se adaptar graficamente a diferentes áreas de estudo. Ou seja, a atividade cognitiva envolvida é intensa e variada na procura de relação entre as variáveis desta ação: a forma que se deseja visualizar (osteologia, célula, veia, etc.); o significado que tem (para que serve, onde se localiza, etc.); as características gráficas a adequar (linha, ponto, cor, mancha, trama, etc.); os gestos utilizados para desenhar, a organização no espaço da folha relativamente a outros desenhos e apontamentos escritos, entre outras.

É a variedade destas relações que fortalece a sua memorização – a capacidade de memória “depende muito de quantas relações são feitas com outras memórias” (Terada, 2019, p. 3) – permitindo criar mnemónicas que auxiliam a evocar mais tarde esse conhecimento. É, portanto, a experiência gráfica envolvida na transformação do conhecimento em imagens que permite ao estudante adquirir, inquirir e memorizar esse mesmo conhecimento. Algo que John Berger, explica com perfeição:

It is the actual act of drawing that forces the artist to look at the object in front of him, to dissect it in his mind's eye and put it together again; or, if he is drawing from memory, that forces him to dredge his own mind, to discover the content of his own store of past observations... A line, an area of tone, is not really important because it records what you have seen, but because of what it will lead you to see (Berger, 2005, p. 3).

Referências

- Almeida, P. F. (2002). *Imagem Conceptual e Processo Criativo – O Diagrama como Instrumento e Metáfora do Processo Artístico*. Trabalho de Síntese para as Provas de Aptidão Pedagógica e Capacidade Científica, Universidade do Minho.
- Berger, J. (2005). *Berger On Drawing*. Edited by Jim Savage. Aghabullogue: Occasional Press.
- Buzan, T. (1996). *Saber Pensar*, Lisboa: Editorial Presença.
- Damásio, A. R. (1995). *O Erro de Descartes – emoção, razão e cérebro humano*. Lisboa: Publicações Europa-América.
- Fernandes, M. A., Wammes, J. D., & Meade, M. E. (2018). The Surprisingly Powerful Influence of Drawing on Memory. *Current Directions in Psychological Science*, 27(5), pp. 302-308.
- Gansterer, N. (2017). *Drawing a Hypothesis – Figures of Thought*. Berlin/Boston: Walter de Gruyter.
- Larkin, J. H. & Simon, H. A. (1987). Why a diagram is (sometimes) worth ten thousand words. *Cognitive Science*, 11(1), pp. 65–100.
- Massironi, M. (1982). *Ver pelo Desenho – aspectos técnicos, cognitivos, comunicativos*. Lisboa: Edições 70.
- Matisse, H., *Ecrits et propos sur l'art*. Paris: Editions Hermann.
- Seligman, I. (2017). The 'Thinking Medium'. In *Lines of Thought – Drawing from Michelangelo to now*. Cat. exp. London: Thames & Hudson/ The British Museum.
- Solso, R., L. (1994). *Cognition and the Visual Arts*. Cambridge (MA): The MIT Press.
- Terada, Y. (2019). *The Science of Drawing and Memory*. Edutopia, George Lucas Educational. Acessível em: <https://www.edutopia.org/article/science-drawing-and-memory>
- Tversky, B. (1999) *What does drawing reveal about thinking?* In Gero, J.S. & Tversky, B. (Eds.). *Visual and Spatial Reasoning in Design*. Sydney: Key Centre for Design Computing and Cognition, pp. 93-101.
- Valéry, P. (2003). *Degas, Danse, Dessin*. Paris: Gallimard.

*Organising complexity.
Graphic and verbal annotations
as synthesising and memorising resources*

Cláudia Amandi

Briefly put, annotations are records of something seen, heard or read. Usually of a concise nature, they help to remember and memorise. They are a fundamental tool for students, particularly when dealing with large amounts of information that require the ability to synthesise and organise content.

In its elaboration, it is possible to observe that some students use drawing alongside writing. By examining the notes by three medical students from the School of Medicine and Biomedical Sciences of the University of Porto (ICBAS), we will analyse how the use of drawings can be a convergent resource for structuring content. In this regard, several central questions are raised.

Why does the student choose to use drawing to understand, organise and synthesise knowledge? Are there advantages in articulating drawing and writing?

The students were unanimous regarding the main reason for using drawing – it makes it easier to memorise the subject matter. Therefore, in what way does drawing aid in memorisation?

The annotations

These annotations belong to three students and pertain to subjects taught in the first and second years in the courses of Systematic Anatomy I and II (first year), Anatomy and Physiology of the Nervous System (second year) and Immunology (second year) between the years 2018 and 2020.

From Tomás Araújo, there is an A4 notebook related to Systematic Anatomy I, made in the academic year 2018-2019, with examples of osteology, arthrology and myology.

From Gabriela Azevedo, there are loose A4 sheets of notes related to Systematic Anatomy I and II, produced in the academic year 2019-2020, and also an A4 notebook related to Anatomy and Physiology of the Nervous System in the academic year 2020-2021.

From Rita Amaral, there are loose A4 sheets of notes related to Anatomy and Physiology of the Nervous System (including examples of Neuroanatomy) and Immunology, both resulting from the academic year 2018-2019.

Similarities and differences

These students were unfamiliar with drawing in their secondary or current higher education studies. The annotations are created to study for exams. All the students use drawing in direct conjunction with writing as a methodology for constructing these notes, with variation in the size of the drawings relative to the size of the paper. The drawings typically reproduce illustrations and diagrams already present in textbooks of the field and tend to be initially drawn in pencil and then outlined in ink. The relationship between drawing and text is achieved through the use of arrows and lines that help identify the whole or parts of the shape or diagram with names, actions or characteristics. Colour is introduced in some notes to highlight a specific part of the shape under study and create concrete associations between parts of the shape or diagram and written elements that share the same colour.

The annotations made for Systematic Anatomy I and II, since they focus on a *complete and detailed study of the morphology of organs*

and the structure of the human body,¹ are quite eloquent in terms of the drawn shapes. Although the drawings belong to two different students, they display similarities in their construction. Graphically simplified, most of the illustrations maintain the use of lines, patterns, and sometimes shading, which aid in better locating the parts and provide a more three-dimensional interpretation (Fig. 1, Fig. 2).

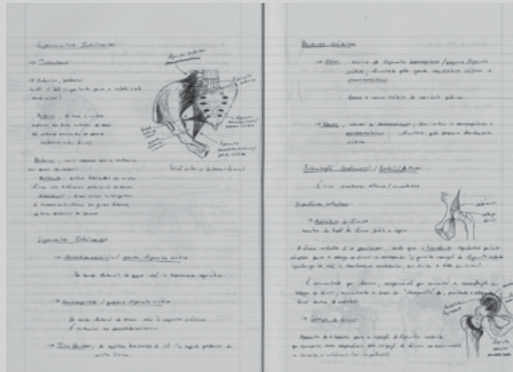


Fig. 1 – *Sacroiliac Joint: Extraneous Ligaments, Hip Joint*, Tomás Araújo, 2018.

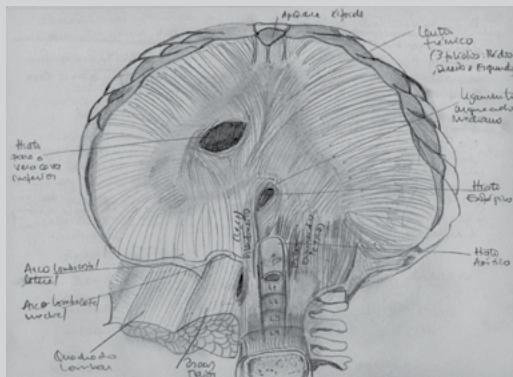


Fig. 2 – *Systematic Anatomy I*, Gabriela Azevedo, 2019-20.

1 Curriculum of the course Systematic Anatomy II, 1st Year, 2nd Semester, ICBAS, Sigarra, 2022.

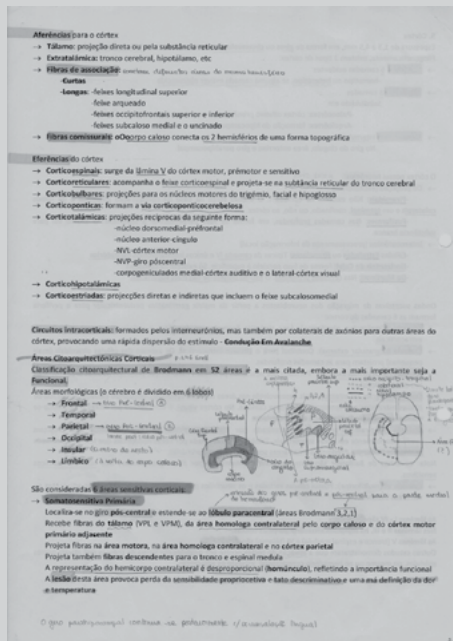


Fig. 3 – *Neuroanatomy – Anatomy and Physiology of the Nervous System*, Rita Amaral, 2018-19.

In the notes for Anatomy and Physiology of the Nervous System, some of the drawings maintain the same graphic characteristics mentioned earlier, allowing for the identification of several three-dimensional morphological layers. Others, however, exhibit a more tightly structured and flattened linear synthesis. For example, an inner and outer contour is used to delimit different morphological areas of the brain, which are partially covered with different colours, lines or dots (Fig. 3). In addition to these annotations belonging to different students, the nature of the subject demands different approaches to facilitate interpretation.

We may observe in these notes (from Systematic Anatomy I, II and Anatomy and Physiology of the Nervous System) that the drawings are either smaller than the written information or very similar in size to the space occupied on the page. In general, we can say that, in these cases, the drawings allow for the visualisation, localisation, and specification of the morphological characteristics. At the same time, the written text complements by naming these parts and adding additional information.

However, this dimensional relationship between drawing and writing is noticeably altered in the notes created for Immunology. In other words, the graphic dimension is much larger than the written text. In cellular interactions, one seeks to understand patterns and structures of the immune system in action. Given the complexity of actions and the various players in specific contexts (e.g., “Major Histocompatibility Complex Class I and II” or “Toll-like Receptors”), we can see that drawing plays an indispensable role in understanding the sequence and diversity of these actions. The graphic organisation is highly simplified, using diagrams to visualise organically complex activities involving all participants. It primarily relies on lines to draw relationships between geometric shapes, such as circles, rectangles or squares, cylinders, and other curvilinear forms, along with arrows and brackets. Colour, integrated into some of these elements, distinguishes actions and relates, in most cases, to the written notes. (Fig. 5, Fig. 6).

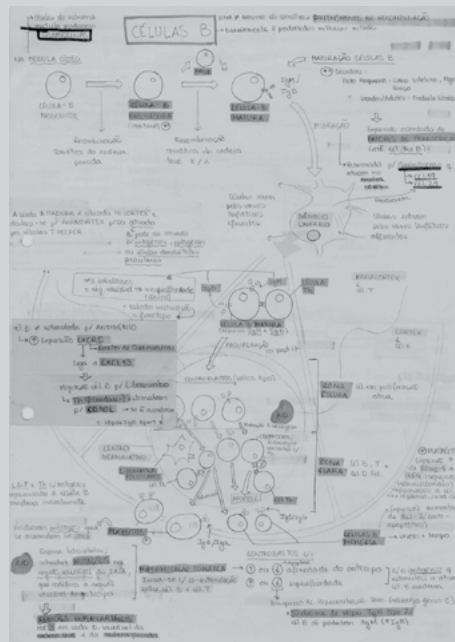


Fig. 4 – B Cell Differentiation - Immunology,
Rita Amaral, 2018-19.

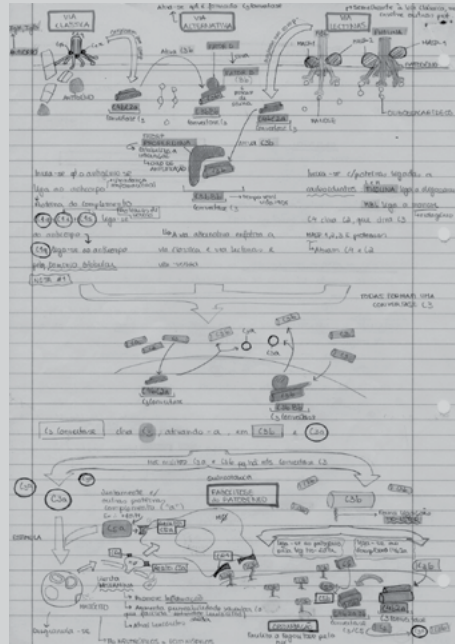


Fig. 5 – Complement System Activation Pathways
– Immunology, Rita Amaral, 2018-19.

We cease to recognise elements of our body, such as bones or muscles, to enter a realm that is neither visible to the naked eye nor recognisable to a layperson. The widespread way in which the drawings occupy the pages indicates that the construction of these Immunology notes begins with drawing. It is only possible to understand these “Complexes” or “Receptors” through the chain of relationships that various graphical elements establish among themselves. Reasoning becomes visible, acquires a formal dimension, and the abstraction of actions becomes tangible and observable to determine if any parts are missing.

It is clear that each study context requires a different relationship between drawing and writing (for example, osteology and immunology), in addition to the particular way each student perceives to be the most suitable form of studying. However, it is evident that they all engage in distinct graphic operations that help them visualise, organise and synthesise knowledge. In other words, the relationship they establish between drawing and text allows them to create a memorisation strategy, crucial for exam preparation, through a study process that aids them in locating “things”, identifying relationships

or sequences, interpreting characteristics, and seeing if they “work”. In practice, these operations imply selecting and organising information so that the study has an organisation that clarifies and synthesises complexity.

This means that drawing in this context is not merely about copying an existing image. Time is limited, the subject matter is extensive, and students can study from numerous scientific illustrations.

Le dessin est la précision de la pensée
Henri Matisse (1972)

Drawing, therefore, is not just about obtaining an image that will be captioned but actively involves the process of making it in the study process. Its execution involves understanding what one wants from that drawing – what form it should take, which sequence of elements to pay attention to, what dimensions, specific morphological characteristics or actions, materials, graphic manipulation, etc. In other words, students will establish a relationship between what they seek to understand and how they will visualise and locate it. These images may be called *Conceptual Images* (Almeida, 2002, p. 2). As Paulo Freire de Almeida explains, in contrast to Perceptual Images², Conceptual Images “interpret reality, selecting and valuing certain aspects according to criteria that transform optical information into abstract configurations to varying degrees. This type of image corresponds to a cognitive approach in which judgements and selection concepts are activated in observable forms. (...) It is commonly stated that in this type of representation, the author draws ‘what he or she knows’ rather than ‘what he or she sees’, assigning concepts a mediating role between the natural image and the graphic image” (2002, p. 2-3).

2 *In simple terms, we may say that perceptual representation is based on the passive recording of light information on a photosensitive surface, such as a photographic lens or the retina. Points of light imprint on the optic nerve or the negative, creating a set of marks whose reconstruction offers a copy of the appearances of the physical world. This image preserves the appearances as presented by nature, without necessarily the receptor having any knowledge or opinion about what they are recording.* (Almeida, 2002, p.2)

This cognitive process remains intense throughout the execution of the annotations because the results depend on the student's perception, association, attention, reasoning and memory capacities. Nikolaus Gansterer refers to this process as “making sense” (Gansterer, 2017, p.21), and, indeed, the way the student organises the graphical and written information corresponds to a mediation of the importance that both hold for the annotations to function effectively.

The cognitive act of perceiving, translating and allocating occurs continuously when we compose thoughts and receive or manage information. This process of sense-making always happens by establishing relations and through drawing connections. (...) Since drawing mediates between perception and reflection, it plays a constitutive role in the emergence, production and communication of knowledge. From my perspective, the genesis of ideas is often directly connected with graphical thinking (...) (Gansterer, 2017, p. 20- 21).

This means that the relationship each student finds between drawing and text allows them to develop a strategy to think while they create – synthesising knowledge requires clarifying and understanding its relevance. In this articulation, they must decide what to keep and exclude to achieve a structured and synthetic organisation of that knowledge. In other words, this allows the students to contemplate the knowledge they are studying, whether they understand it, and how to articulate it for better memorisation. In this context, the concept of “making sense” (Gansterer, 2017, p. 20-21) converges with what the art historian Max Friedländer (1867-1958) describes as “thinking aloud”:

The art historian Max Friedländer once described drawing as representing an artist's internal monologue or ‘thinking aloud’. In this conversation between the artist and their thoughts the page acts as a sounding board for ideas, allowing them to be both articulated and tested (Seligman, 2016, p. 12).

In other words, drawing can be a means of *thinking aloud* and, in these cases, thinking about existing concepts. Not only because when creating the drawings, the student is visualising that knowledge, but also because the very process of taking notes engages them in an activity of making meaningful choices, choices that *make sense*. Their execution is not, therefore, a linear process. Students have to decide what

they are drawing – the graphic choices must best suit the conceptual characteristics of the drawn form. Manfredo Massironi refers to this process as “emphasising and excluding”, which allows for making the drawings to become operational, that is, functional for the task they must accomplish:

(...) different are the acting passages of those who have to construct these icons – of those who, therefore, have to choose between what is worth presenting and what can be overlooked. The draughtsman navigates on this tightrope between emphasis and exclusion (...). If, for example, the purpose is to depict a part of the muscular system in an anatomical engraving, the expression of the face or the posture of the person becomes secondary, but if the goal is to illustrate a genre scene, the expression of the face or the body posture takes on primary importance in relation to the muscular system.

The example is highly schematic and taken to the extreme, but for now, it succeeds in clarifying how the ultimate intention that the graphic aims for has forced continuous choices based on the communication one intends to convey (Massironi, 1982, p. 72-73).

In this excerpt, Massironi uses the process of creating scientific illustrations as an example, which is essentially what these students use as the basis for producing their own illustrations. We may argue that this process of emphasis and exclusion does not occur when it comes to copies. On the contrary, students create these drawings because they need to understand, locate and memorise *that* knowledge. Therefore, they use original illustrations, highlighting parts and excluding what they know is irrelevant. The selective nature of this graphic operation allows for an experiential memory of the subject. They will repeat an existing image but have to construct or reconstruct it from an approach that involves making choices. Consequently, students will not obtain the original illustration they are studying but rather a graphic and verbal organisation that involves a certain degree of transformation.

*Le dessin n'est pas la forme,
il est la manière de voir la forme*
Edgar Degas (cited by Valéry, 1938)

As mentioned at the beginning, we notice that the proximity between the graphical and verbal elements follows a particular order or sequence. Sometimes, the drawing occupies almost the entire page (Fig. 1) as if it were necessary to enlarge it to better understand the relationship between the parts. In other cases, the drawing is distributed in a more equitable relationship between drawing and text (Fig. 2 and 3), as if each drawn element emerged in sequence from what is written or vice versa. Alternatively, the drawing expands in specific movements across the entire page (Fig. 4, 5, 6, 7, 8, and 9), as if the drawing were a map the student follows as they construct it. In other words, the pages arrange shapes and text in a sequence of dimension and proximity chosen by the student. One of the principles of perceptual organisation in *Gestalt* theories highlights the “Principle of Proximity” as a characteristic by which we tend to organise what we see, allowing us to more easily attribute context or meaning:

We tend to organize proximal stimuli, if they are similar in shape, color, form, or lines, into patterns. Think of any art piece you have seen, either in this book or in a gallery, and analyze it in terms of proximity. It is likely that many images rely on proximity, which compels the viewer to ‘see’ the world in a certain predetermined way. (...) This universal mode of seeing (and hearing, tasting, smelling, and feeling) seems to be an integral, evolved component of the human nervous system – its main purpose being to usefully represent the physical world to a thinking creature. The creatures that performed these operations successfully were presumably more adaptive and more likely to procreate than those that didn’t (Solso, 1994, pp. 89-90).

How these annotations are distributed on the page is important for each student because the spatial arrangement helps organise the graphic and verbal content. In this combination, this type of note-taking helps compensate for the inevitable limitations of human memo-

ry³ and *makes thoughts more permanent* (Tversky, 2002, p.1). In other words, this partnership between drawing and writing can serve as a mnemonic strategy, providing synthetic visual structures that help to memorise and evoke.

“Memory is essentially a process of associations and connections that relies largely on adequately imagined keywords and concepts”, as Tony Buzan (1996, pp. 80-81) described. This implies that mnemonics require key concepts and the power of synthesis in the elements that branch out from that key concept. Buzan explains that these *key concepts* function as *associative hooks* (1996, p. 95) because they gather the remaining information to be memorised. They serve as a kind of “main themes” to which other elements can be added.

The main themes work as large hooks that ‘grab’ all the information. In other words, the questions and main objectives work like associative liaison centres to which all the remaining information is easily attached (Tony Buzan, 1996, p. 136).

In the graphic representation of knowledge, students create associations between lines, marks, dots, arrows, and three and bi-dimensional forms with words and sentences, aligning, approximating, emphasising, etc. In this context, drawings serve as “associative hooks that synthetically materialise the subject and aggregate the experience of its execution.” The typical structure of sentences is not the best way to recall images and verbal ideas, as Buzan explains (1996, p. 96), because our memory does not use a *process of correspondence word by word*. Hence, we remember a specific situation, shape, film, book, etc., by associating key elements that Buzan calls the *Key-Concepts that schematise* (1996, p. 96) the context data. This means that using many words does not assist in retaining information; therefore, traditional annotations that repeat content *verbatim* are a less advantageous strategy for memorisation. To provide a more concrete understanding of this misalignment, Buzan cites some relevant data:

- 3 See also the studies analysing the relationship between drawing and thinking by Barbara Tversky of the Department of Psychology at Stanford University, among them, *What Does Drawing Reveal about Thinking?* 2002; and *Why a diagram is (sometimes) worth ten thousand words*, 1987 by J.H. Larkin & H. A. Simon, Cognitive Science researchers at Carnegie-Mellon University.

1- Time is wasted when recording words that don't aid memory (calculated loss – 90%); 2- Time is wasted rereading unnecessary words (calculated loss – 90%); 3- Time is wasted searching for Keywords to Remember, given these are usually indistinguishable from other words, tending to mix with them; 4- Associations between Keywords are interrupted by the words that separate them. Since memory functions through associations, any interference from other words weakens these associations; 5- Keywords to Remember find themselves temporally interspersed with other words: after reading a Keyword or Phrase, at least a few seconds are needed to get to the next one. The longer the time span between associations, the fewer the chances of establishing adequate associations; 6- Keywords to Remember are spatially separated by the distance between them. Just like with the time aspect, the greater the distance that separates them, the fewer the chances of establishing adequate associations (Buzan, 1996, p. 96-98).

This analysis makes even more sense when we consider that our brains cannot store *complete* images of everything we do, see or feel. As António Damásio explains, it would be unmanageable for the brain to retain, store and access so much differentiated information. What our memory does, according to Damásio, is to temporarily reconstruct specific information from various fragments stored in different parts of our brain (Damásio, 1994, p. 117). That's why what we remember is not exactly what we experienced in reality, but rather, “an interpretation, a newly reconstructed version of the original,” as Damásio explains (1994, pp. 116-119).

These characteristics indicate that the graphic activity associated with writing may assist students in certain contexts to develop more effective processes of comprehension and memorisation. Information is synthesised and visualised through graphic and verbal codes that spatially relate to each other on the page. These graphic and verbal codes do not work autonomously, but the arrangement created between them allows for a more accurate reconstruction of the knowledge that is intended to be evoked.

In this context, the study conducted by Myra A. Fernandes, Jeffrey D. Wammes and Melissa E. Meade from the Department of Psychology at the University of Waterloo reinforces the relevance of drawing as a mechanism that aids memory and its recall. Between *seeing images of words and seeing written words*, the study already points to a greater capacity for memorising words seen as images. This study also reveals that the ability to memorise words increases when *draw-*

ing the word compared with *writing the same word*. This means that the experience of drawing has a significant influence on the memorisation of information:

(...) When drawing, participants indeed must create a mental image of the word but also perform the mechanistic process of moving their pencil to create an image, which provides motor information, perhaps akin to a muted enactment effect. (...) Drawing facilitates retention, at least in part, because it requires elaboration of the meaning of the term and translating the definition to a new form (a picture) (Fernandes, Wammes & Meade, 2018, pp. 303-304).

Hence, the actions carried out during the process of drawing enhance and enrich the memorisation capacity of the draughtsman regarding that subject:

That is, to transfer a word into a drawn visual representation, one must elaborate on its meaning and semantic features, engage in the actual hand movements needed for drawing (motor action), and visually inspect one's created picture (pictorial processing). We argue that the mechanism driving the drawing effect is one that promotes the seamless integration of these codes, or modes of representation, into one cohesive memory trace, and it is this that facilitates later retrieval of the studied words (2018, p. 304).

The use of drawing provides images
that the mind *wants* to think with

In these examples, we may observe how drawing plays a pivotal role in organising and visualising certain areas of knowledge. Writing alone is not sufficient.

In notebooks or loose sheets, with graphite pencils and pens in various colours, students draw body shapes, cellular activities and systems that are subsequently named and complemented in their meaning with words and text. The several study sheets – the outcome – are essential for enabling later reading and rereading, viewing and revising, memorising and evoking.

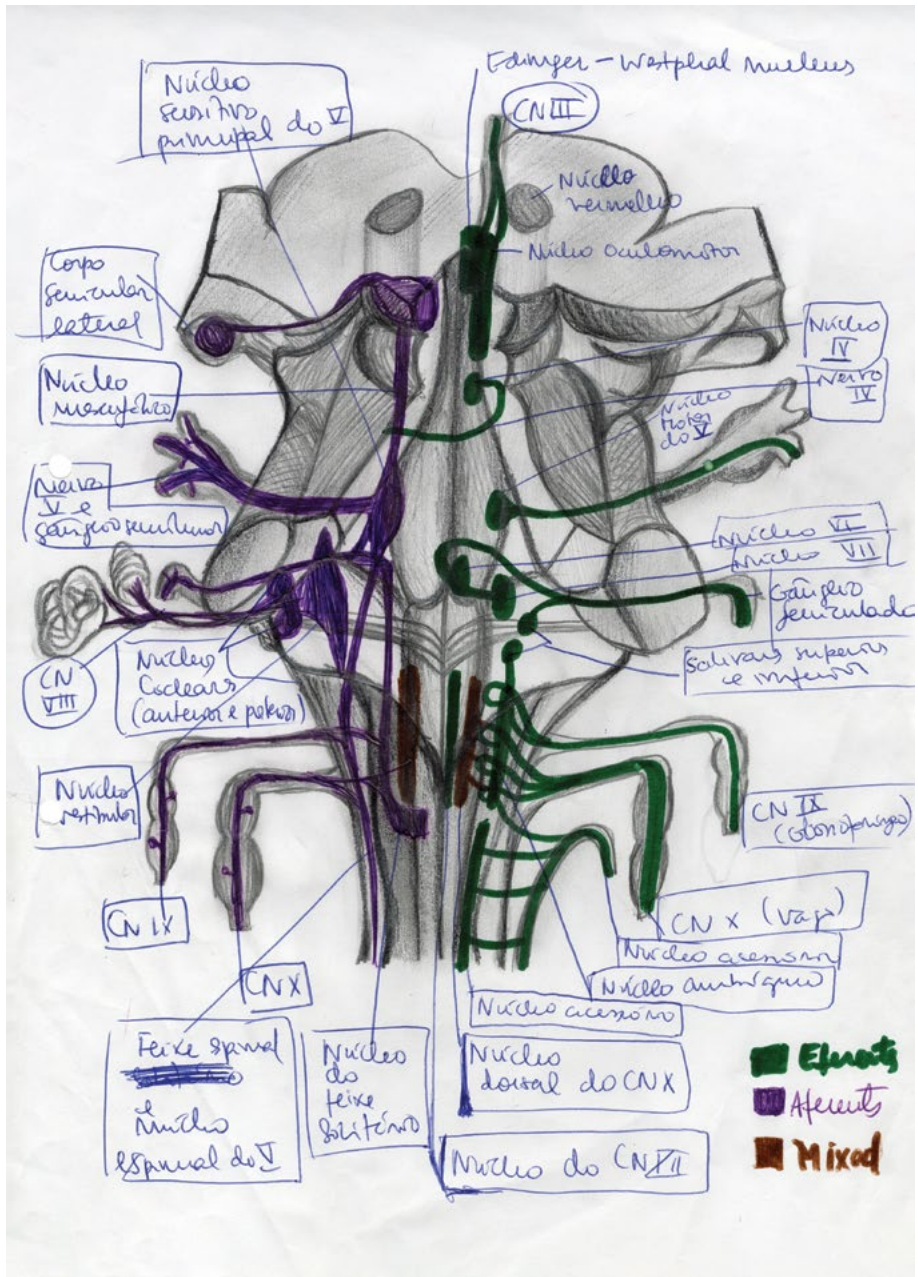
The affinity students establish between drawing and writing enables them to create solutions to understand, organise and synthesise the diversity of morphological and functional characteristics they must study. In fulfilling this task, the graphic quality of the drawing is irrelevant. The synthetic visualisation of specific knowledge requires each student to possess a great capacity for abstraction (in the way they draw), logical reasoning (regarding its meaning), attention, association, memory, and cognitive flexibility to adapt graphically to different areas of study. In other words, the cognitive activity involved is intense and varied in seeking relationships between the variables of this action: the shape that one desires to visualise (osteology, cells, veins, etc.); its meaning (what it serves, where it is located, etc.); the graphic features to adjust (line, dot, colour, stain hatching, etc.); the gestures used for drawing, the spatial organisation on the page concerning other drawings and written annotations, among other factors.

The variety of these relationships strengthens memorisation – the memory capacity “depends greatly on how many relationships are made with other memories” (Terada, 2019, p. 3), allowing students to create mnemonics that help them recall that knowledge later. Therefore, the graphic experience involved in transforming knowledge into images enables students to acquire, inquire and memorise that very knowledge. Something that John Berger explains perfectly:

It is the actual act of drawing that forces the artist to look at the object in front of him, to dissect it in his mind's eye and put it together again; or, if he is drawing from memory, that forces him to dredge his own mind, to discover the content of his own store of past observations... A line, an area of tone, is not really important because it records what you have seen, but because of what it will lead you to see (Berger, 2005, p.3).

References

- Almeida, P. F. (2002). *Imagem Conceptual e Processo Criativo – O Diagrama como Instrumento e Metáfora do Processo Artístico*. Trabalho de Síntese para as Provas de Aptidão Pedagógica e Capacidade Científica, Universidade do Minho.
- Berger, J. (2005). *Berger On Drawing*. Edited by Jim Savage. Aghabullogue: Occasional Press.
- Buzan, T. (1996). *Saber Pensar*, Lisboa: Editorial Presença.
- Damásio, A. R. (1995). *O Erro de Descartes – emoção, razão e cérebro humano*. Lisboa: Publicações Europa-América.
- Fernandes, M. A., Wammes, J. D., & Meade, M. E. (2018). The Surprisingly Powerful Influence of Drawing on Memory. *Current Directions in Psychological Science*, 27(5), PP. 302-308.
- Gansterer, N. (2017). *Drawing a Hypothesis – Figures of Thought*. Berlin/ Boston: Walter de Gruyter.
- Larkin, J. H., & Simon, H. A. (1987). Why a diagram is (sometimes) worth ten thousand words. *Cognitive Science*, 11(1), pp. 65–100.
- Massironi, M. (1982). *Ver pelo Desenho – aspectos técnicos, cognitivos, comunicativos*. Lisboa: Edições 70.
- Matisse, H (1972). *Ecrits et propos sur l'art*. Paris: Editions Hermann.
- Seligman, I. (2017). The ‘Thinking Medium. In *Lines of Thought – Drawing from Michelangelo to now*. cat. exp. London: Thames & Hudson/The British Museum.
- Solso, R., L. (1994). *Cognition and the Visual Arts*. Cambridge (MA): The MIT Press.
- Terada, Y. (2019). *The Science of Drawing and Memory*. Edutopia, George Lucas Educational. Acessível em [https://www.edutopia.org/ article/science-drawing-and-memory](https://www.edutopia.org/article/science-drawing-and-memory)
- Tversky, B. (1999) What does drawing reveal about thinking? In Gero, J.S. & Tversky, B. (Eds.). *Visual and Spatial Reasoning in Design*. Sydney: Key Centre for Design Computing and Cognition, pp. 93-101.
- Valéry, P. (1938). *Degas, Danse, Dessin*. Paris: Gallimard.



- 1 *Unidade Curricular Anatomia e Fisiologia do Sistema Nervoso / Curricular Unit Anatomy and Physiology of the Nervous System*
 Gabriela Azevedo, 2020-21
 Grafite, marcador e esferográfica sobre papel / Graphite,
 marker and ballpoint pen on paper, 29,7 x 21 cm
 ICBAS

Cordão espermático → Canal deferente ⊕ periferico
 Para veios o pampiniforme → ⊕ interno a Arteria testicular
 → Arterias (glandular) → Ramo da epigástrica inferior
 → " deferencial → vezal inferior
 Aorta (gonada)

→ Anteriormente para pelo ~~do~~ canal espermático

Próstata → Adjacente do reto → Toque retal

↓ Preenche por metade e ductos ejaculatórios

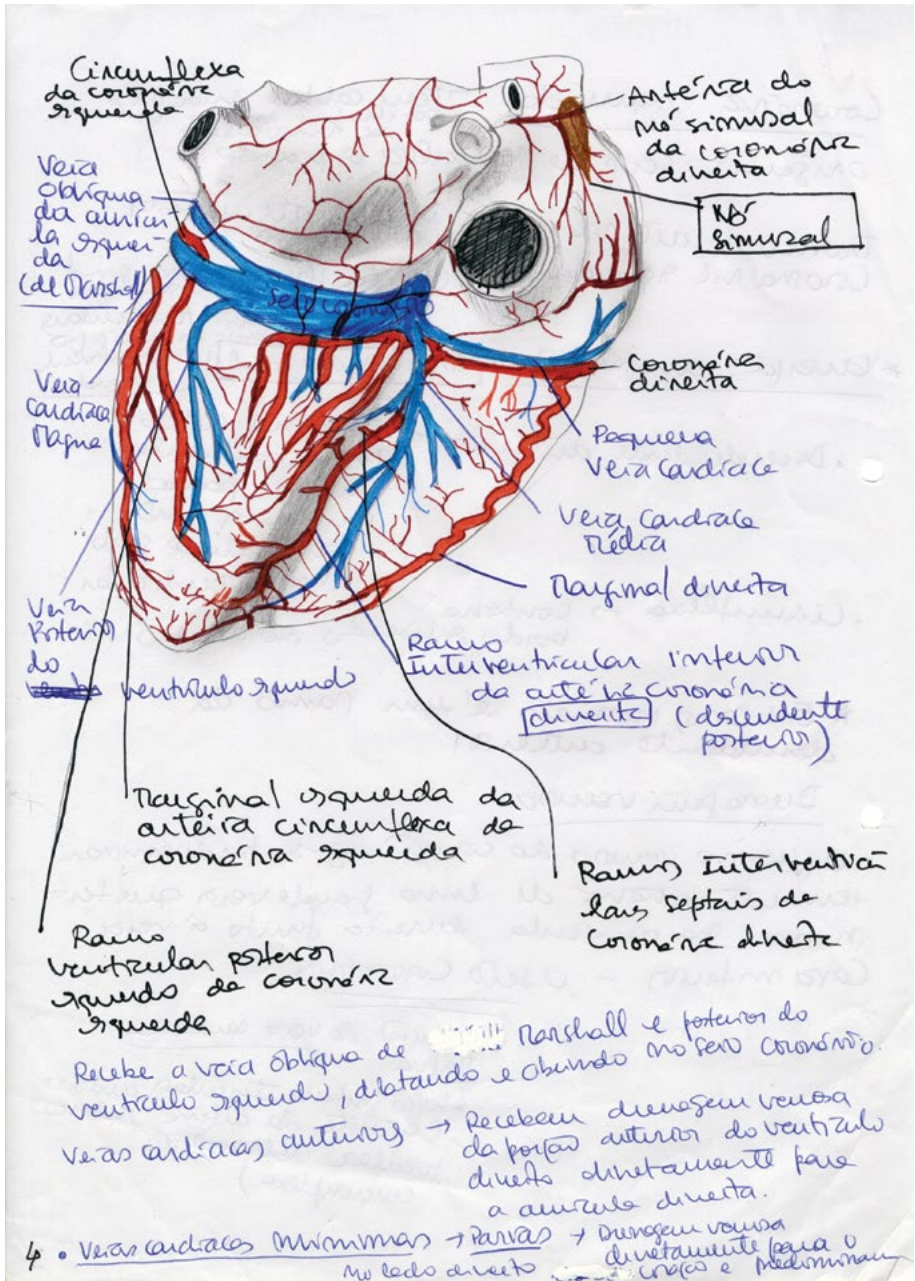


- Estroma Fibromuscular
- Zona de Transição
- Zona periférica
- Zona central

Palpado durante toque retal

Toda irrigado por ramos da íntima interna

Claude → Separedo do corpo
 Sulco ventral mediano → Corpo esponjoso



3

Unidade Curricular Anatomia Sistemática II / Curricular Unit Systematic Anatomy II

Gabriela Azevedo, 2019-20

Esferegráfica, grafite, corretor, caneta e marcador sobre papel

/ Ballpoint pen, graphite, corrector, pen and marker on paper, 29,7 x 21 cm

ICBAS

Músculos de Mão : Grupo lateral ou Músculos Tenares

- Oponente do Polegar
- Abductor Curo do Polegar
- Flexor Curo do Polegar
- Adutor do Polegar

Oponente do Polegar

Inserções:

Proximal - Trapezóide e trapezóide do 1º metacárpico.
Distal - Face lateral do 1º metacárpico

Ação: Oposição (movimento do polegar para dentro e para dentro do dedo) do 1º dedo)

Abductor Curo do Polegar

Inserções: Proximal - Escafóide e trapezóide do flexor. Distal - Extremidade proximal de falange proximal do polegar.

Ação: Abdução do polegar

Flexor Curo do Polegar

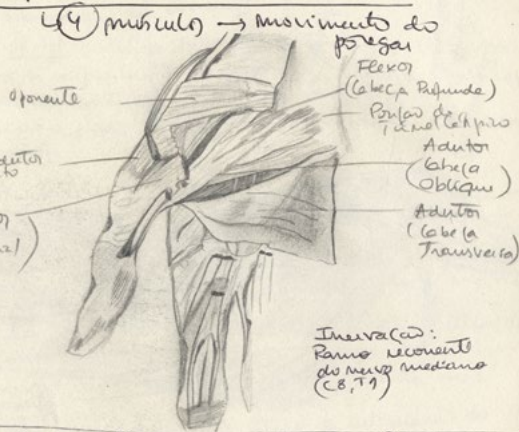
Inserções: Proximal - Trapezóide Trapezóide e osso grande; Artículado do flexor. Distal - Extremidade distal de falange proximal do polegar (e no sesamoide).

Ação: Flexão do Polegar

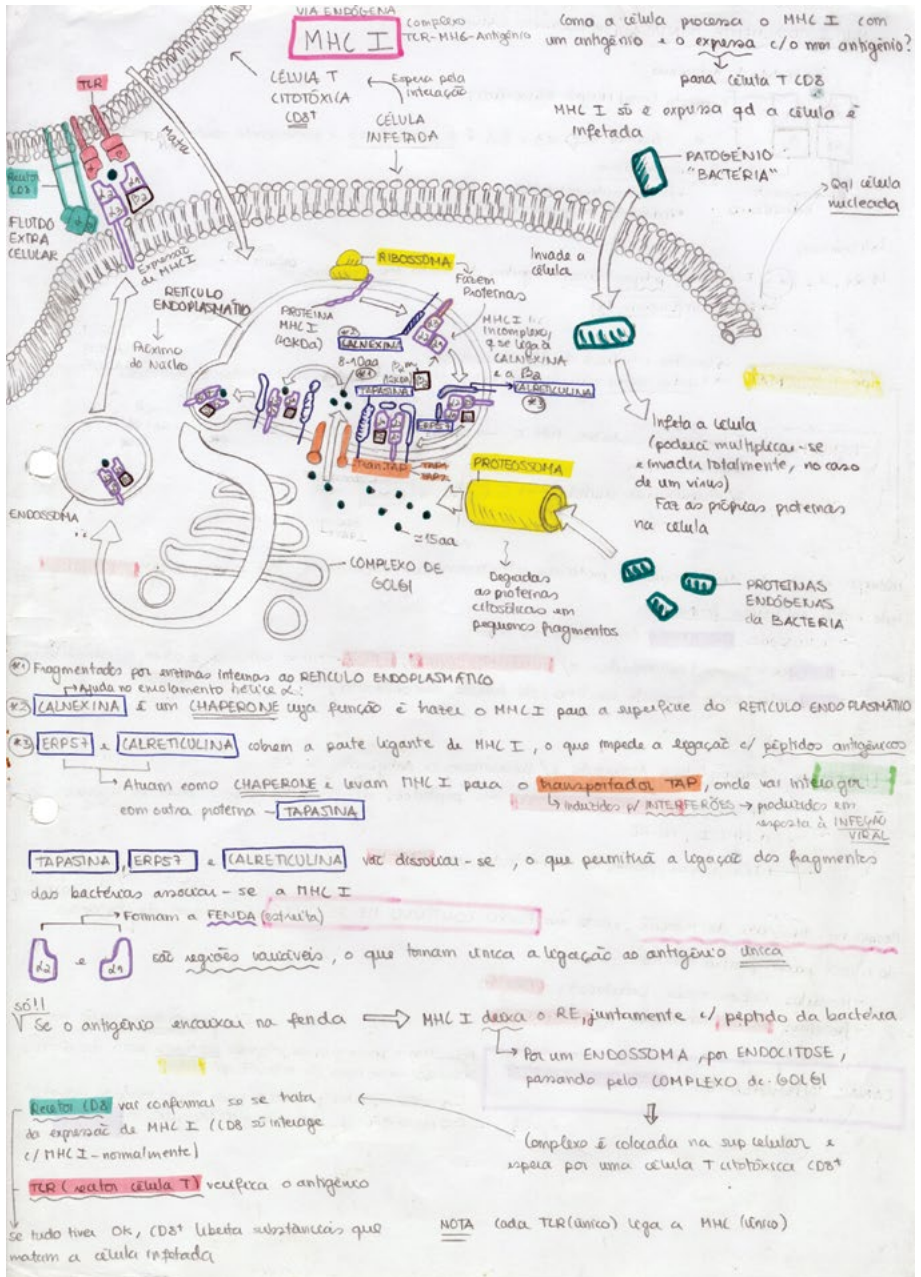
Adutor do Polegar

Inserções: Proximal - Trapezóide e osso grande. Distal - 2ª e 3ª metacarpais lateral - falange proximal (e no sesamoide).

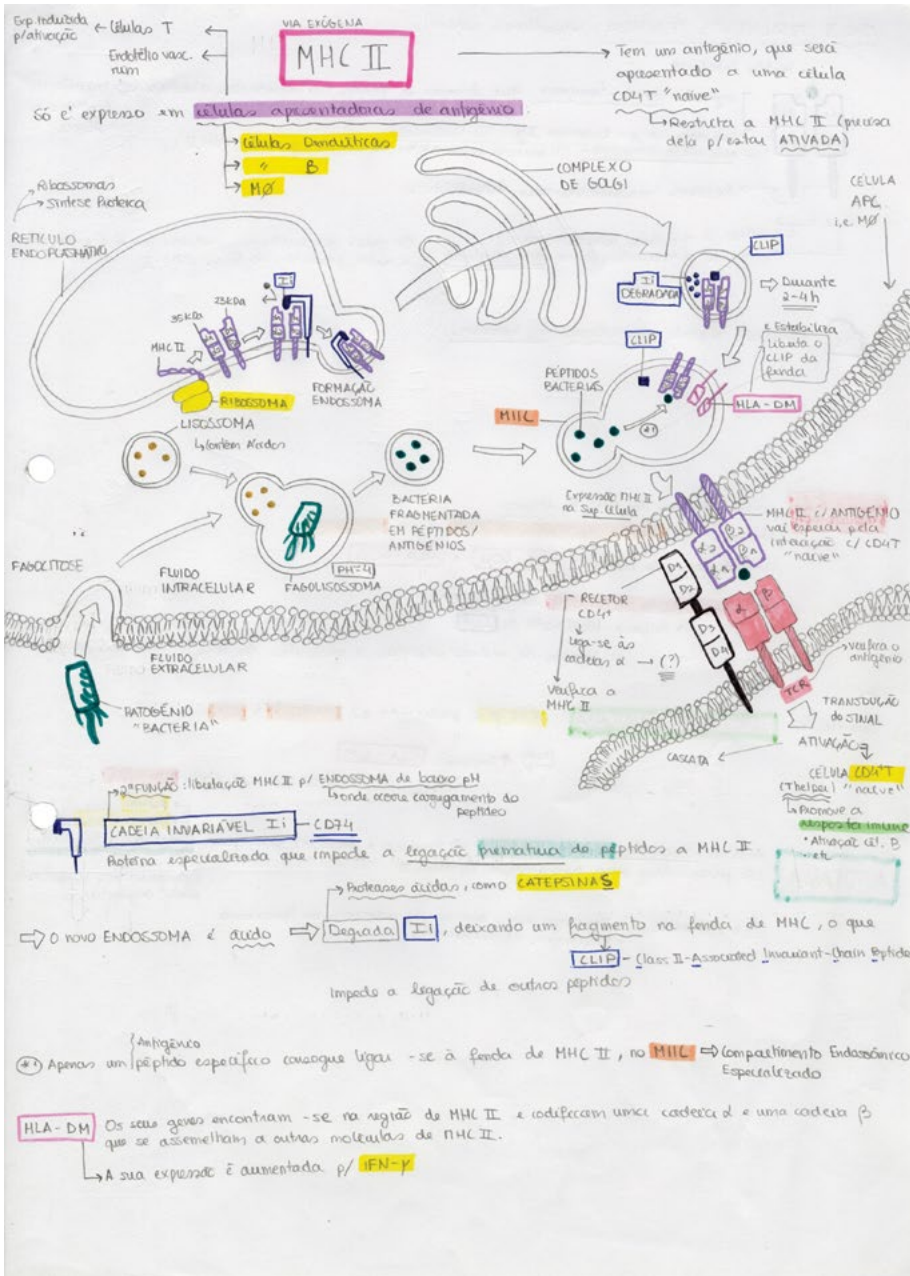
Ação: Adução do polegar



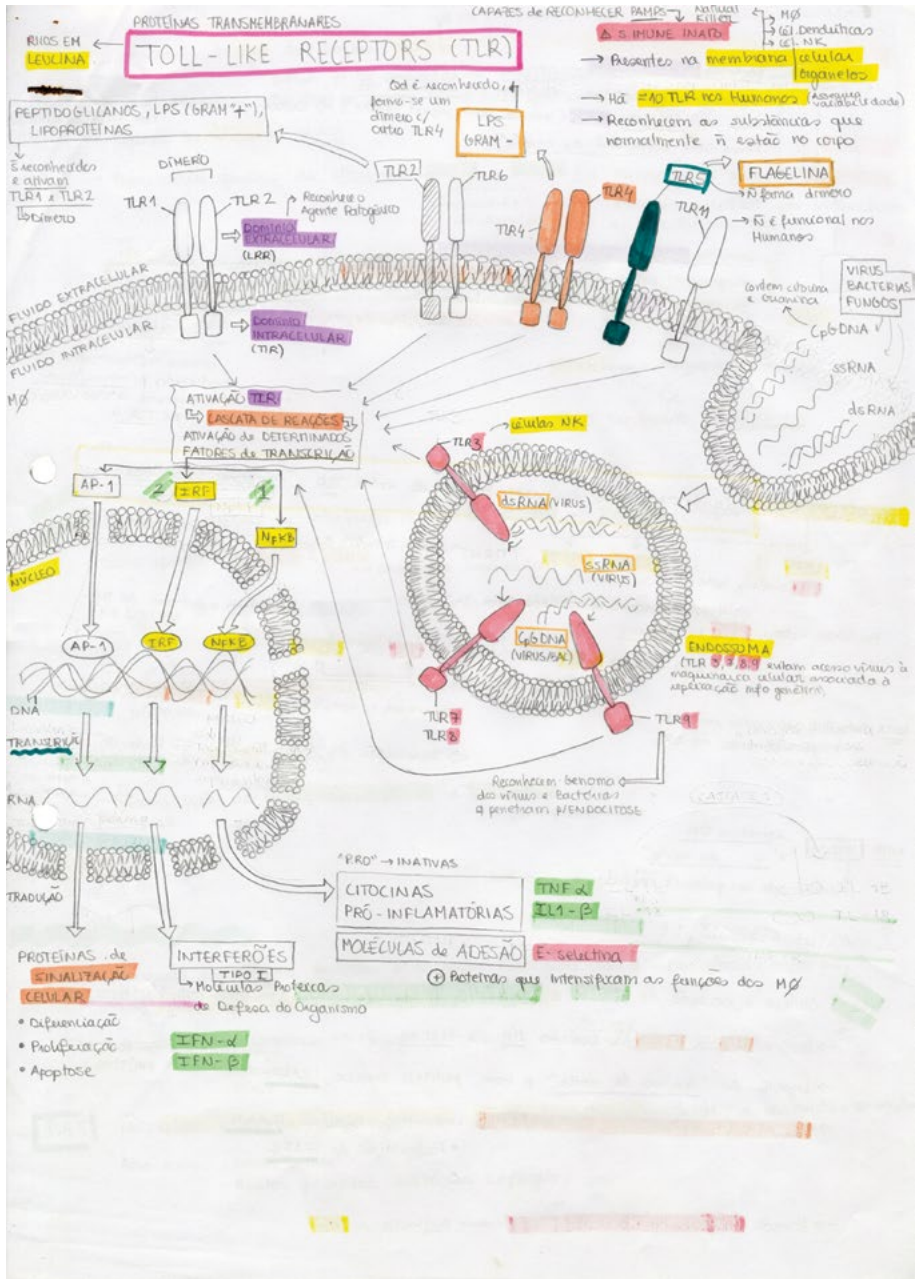
Inervação:
Ramo recorrente do nervo mediano (C8, T1)



7 **Complexo Principal de Histocompatibilidade Classe I (MHC I) – Imunologia / Major Histocompatibility Complex Class I (MHC I) – Immunology**
 Rita Amaral, 2018-19
 Grafite, marcador e esferográfica sobre papel
 / Graphite, marker and ballpoint pen on paper, 29,7 x 21 cm
 ICBAS



8 **Complexo Principal de Histocompatibilidade Classe II (MHC II) – Imunologia / Major Histocompatibility Complex Class II (MHC II) – Immunology**
 Rita Amaral, 2018-19
 Grafite, marcador e esferográfica sobre papel
 / Graphite, marker and ballpoint pen on paper, 29,7 x 21 cm
 ICBAS



9 *Receptores do tipo Toll – Imunologia / Toll-like Receptors – Immunology*
 Rita Amaral, 2018-19
 Grafite, marcador e esferográfica sobre papel
 / Graphite, marker and ballpoint pen on paper, 29,7 x 21 cm
 ICBAS

Ângulo de colo do fêmur

→ Varo, mais desgaste articular, que leva à osteoartrite.

Caso haja osteoporoze, mais facilidade em fratura do colo.

→ Valgo, maior propensão à luxação articular e cirurgia.

Normal: 120° - 135°

Por questões de equilíbrio e movimento osteotômica, ortogonal, os joelhos e pés têm tendência a compensar as anomalias de amplitude:

Colo varo → joelho valgo → ~~(pés em supinação)~~

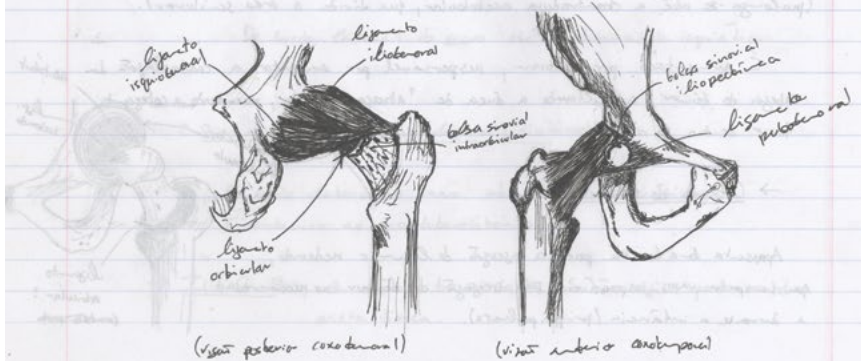
Colo valgo → joelho varo

Cápsula articular

Mais extensa no fêmur

→ Fala anterior cobre todo o colo do fêmur, chegando à linha intertrocanterica.

→ Fala posterior é mais curta, deixando a ~~do~~ linha do colo acima da crista intertrocanterica nua.



Bolsa sinoviais

→ Intra-articulares

→ Extracapsulares

Iliopectinea, anterior; entre as ^{língulas} língulas ilíaca e pubo-oral
comum bursite devido ao uso excessivo de próteses ilíaca.

Intra-articular, posterior
devido a ligamento orbicular.

Bolsa sinovial trocânterica, está na região dos antecôndilos da coxa, mas não pertence à articulação. Frequentemente causa dor, porque permite o deslizamento da fascia lata sobre o trocânter maior.

Ligamentos Intrínsecos

→ Iliotibial, anterior; espesso e extenso, cobre todo o colar do fêmur
(em conjunto)

→ Pubo-oral, medial; espesso e extenso, cobre todo o colar do fêmur

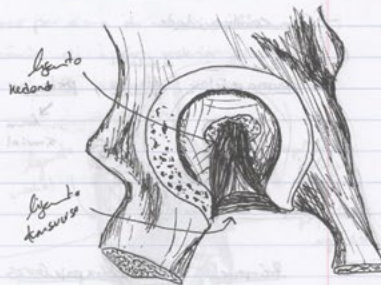
→ Isquiotibial, posterior; laxo e unido entre a porção inferior do colo (por fora do colar do fêmur)
e parte inferior da língula ilíaca que irriga o colar do fêmur.

→ Orbicular, circular e interno.

Ligamentos Extrínsecos (intra-capsulares)

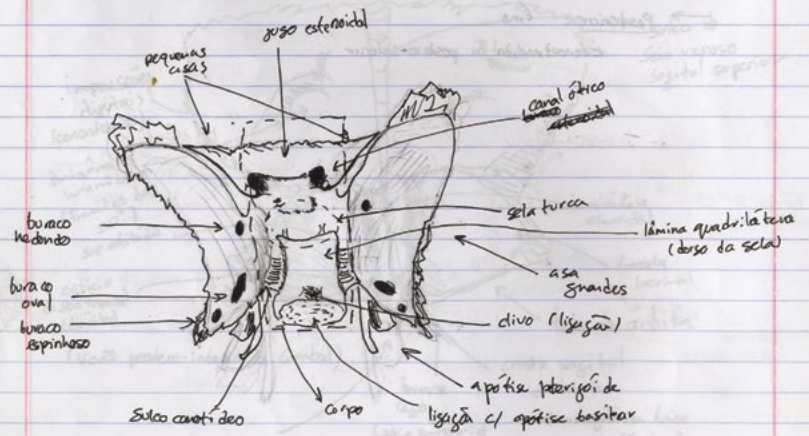
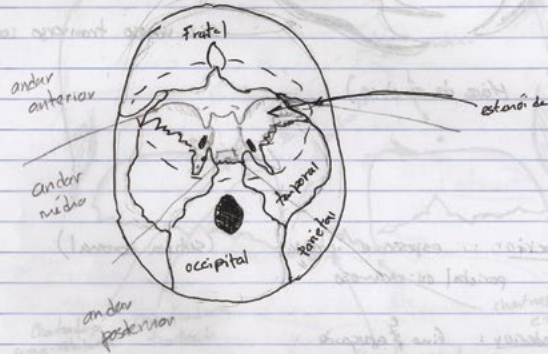
→ Redondo da cabeça do fêmur

→ Transverso do acetábulo,
que completa a cavidade acetabular
e travessa o seio ilíaco, contribuindo para
a estabilidade articular.



(visão medial de coxofemoral)

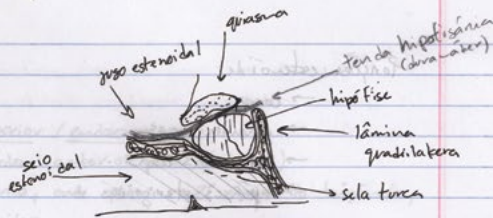
Estenóide



(visão postero-superior da estenóide)

Sela Turca

É côncava, onde assenta a hipófise que é protegida pela tenda hipofisária (extensão de dura-máter).



(Corte sagital médio do corpo estenoidal)

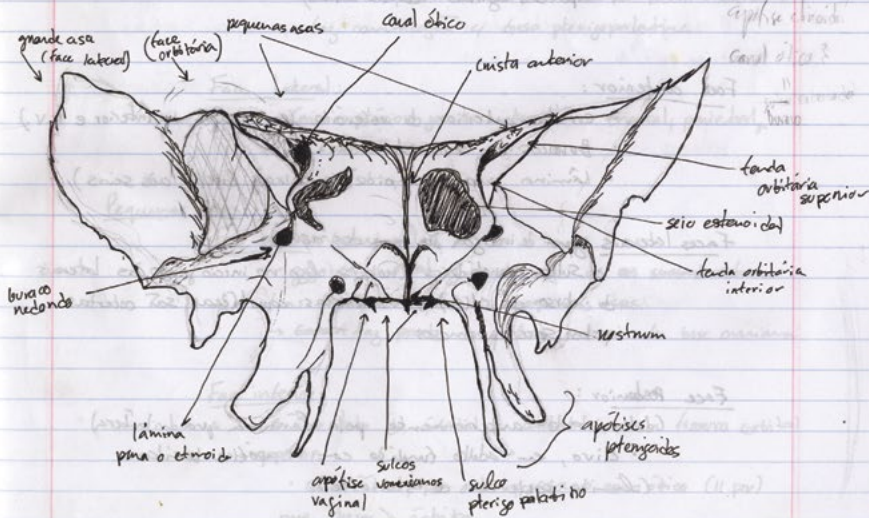
O teto da sela turca relaciona-se com o quiasma ótico - cruzamento de dois nervos óticos.

A hipófise é rodeada (principalmente) lateralmente pelo seio venoso cavernoso, que recebe a artéria carótida interna.

Limite anterior: pequenas asas

Limite médio: corpo do estenóide

Limite posterior: limites laterais da lâmina quadrilátera.



- 11 Base do crânio: Esfenóide, Unidade Curricular Anatomia 1 (módulo de osteologia) / Skull base: Sphenoid, Curricular Unit Anatomy 1 (osteology module)
Tomás Araújo, 2018
Grafite e caneta sobre papel / Graphite and pen on paper, 29,7 x 41 cm
ICBAS

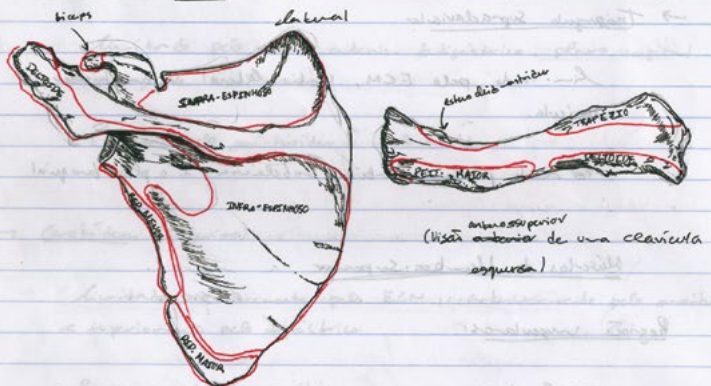
Deltóide

É o mais volumoso da região do ombro, tem forma de delta

Inserção:

→ Cintura escapular: bordo anterior do terço lateral da clavícula
bordo lateral do acrómio acoplata
lúbro inferior da espinha

→ Nervo: impressão deltoideia nuposa linear na face lateral



(Vista posterior de um acoplata engrandecido)

Distinge-se em três partes funcionais:

→ Anterior - flexão do braço

Média - abdução do braço

(sendo palancada dos 60° a 120° pelo supra-espinhoso)

Posterior - extensão do braço

A contração das três partes é simultânea e dá origem à abdução do braço.

Agonistas de cada posição

→ Anterior - Supraespinhoso pequeno longo do bíceps braquial
Coraçoabragiário! (pouco produzido)

→ Média - Supraespinhoso ($60^\circ - 120^\circ$)

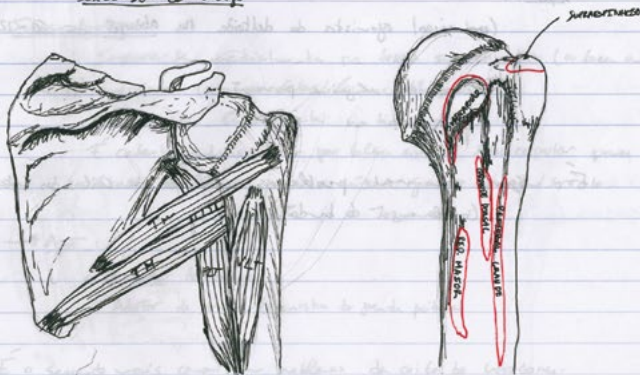
→ Posterior - ($0^\circ - 45^\circ / 90^\circ$) ombro grande dorsal, grande redondo
($+90^\circ$) cabeca longa do tríceps, grande redondo, pequeno redondo.



Grande Redondo

Veloso, age na base posterior do ângulo inferior e base do bordo federal da escápula ao labio medial da falange proximal.
Desvia com o grande dorsal a parte da axila.

Ação: promotor
extensor do braço



- 12 *Inserções musculares da escápula e do úmero, Unidade Curricular Anatomia 1 (módulo miologia) / Muscular insertions of the scapula and humerus UC: Anatomy 1 (myology module)*
Tomás Araújo, 2018
Grafite e caneta sobre papel / Graphite and pen on paper, 29,7 x 41 cm
ICBAS

*A atual presença do desenho
no contexto da medicina:
desenhar para ensinar, estudar e comunicar*

Marina Vale Guedes

O desenho nasce muitas vezes do entusiasmo, da necessidade de colocar uma ideia em perspectiva e da possibilidade de se pensar desenhando. Surge na procura dos contornos, na análise e na preservação, no encontro da fórmula desenhada e na vanguarda da comunicação. É diante desta elasticidade que o desenho se vai reinventando consoante o seu campo de actuação. Uma vez escolhido o foco, este é permeável ao escrutínio de várias matérias.

Colocando o desenho na esfera científica, compreende-se que a sua utilidade se estende a um conjunto de áreas distintas. Desde as ciências biológicas, passando pelas ciências sociais até às ciências exatas, esta ferramenta procura adaptar-se à gramática do objeto de estudo, variando em termos formais e operativos. É a partir do discurso inerente a cada disciplina, que o desenho atua de forma específica, permitindo aos cientistas uma adequação do seu potencial de acordo com os seus objetivos e necessidades. Esta consciência serve de catalisador para se explorar a ligação do desenho à área da medicina, considerando a amplitude da sua utilização no decorrer de um percurso evolutivo marcado pelo uso recorrente e funcional da representação.

Na exploração deste lado operativo, a presença do desenho no campo da medicina será analisada a partir de três ações – ensinar, estudar e comunicar – que se interligam e caracterizam a utilização desta ferramenta num universo de representações com diferentes expressões e funções, mas que concorrem no sentido de ampliar e consolidar

o conhecimento científico. Partindo deste encadeamento, reflete-se inicialmente sobre a necessidade de *desenhar para ensinar*, reconhecendo a importância e utilização do desenho como uma ferramenta didática na sala de aula. A possibilidade de ver e assimilar conhecimentos através do desenho, torna-se crucial para os estudantes de medicina que têm o hábito de *desenhar para estudar*, compreender e memorizar as estruturas anatómicas. Vinculada a esta prática, desencadeia-se a ação de *desenhar para comunicar* com os doentes na consulta. A consciência de que a linguagem verbal é por vezes insuficiente para desmontar a complexidade do discurso médico, evidencia o potencial do desenho como um instrumento de comunicação útil e encerra a análise da vertente operativa do desenho na medicina.

Desenhar para ensinar – estratégias didáticas e material de apoio

Andreas Vesalius (1514–1564) foi o primeiro médico a revolucionar o ensino da medicina. Reviu inúmeros erros difundidos ao longo dos séculos por pessoas que depositaram o seu conhecimento nos livros, em vez de recorrer à prática da dissecação, e adotou uma postura progressista ao reformular o método de ensino da medicina. O seu legado continua a estar bem presente nos cursos de medicina que privilegiam a prática da dissecação como o método utilizado por excelência no ensino da anatomia.

Paralelamente, a fotografia e a representação gráfica do corpo humano continuam a ser um material de apoio importante no entendimento das estruturas anatómicas. Assim como a obra de Vesalius – *De Humani Corporis Fabrica* – revela a complexidade das estruturas anatómicas, os softwares de visualização 3D (Fig. 1) procuram substituir as versões em papel, possibilitando o início de uma viagem interativa pelo interior do corpo humano. Através da manipulação do cursor é possível girar o desenho de forma livre e observar de diversos ângulos os sistemas funcionais, destacando os seus respetivos componentes e a informação teórica. De forma muito intuitiva, a navegação no software permite executar um conjunto de ações como retirar camadas, identificar estruturas e eliminar componentes, promovendo uma experiência de dissecação virtual.

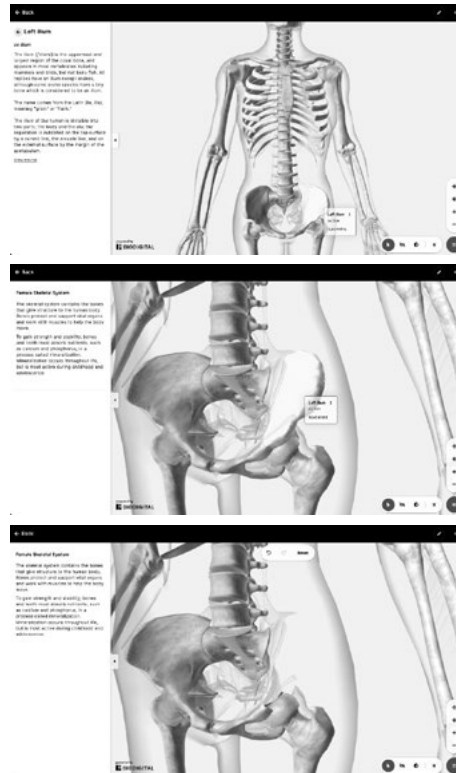


Fig. 1 – Software de visualização 3D do corpo humano, <https://human.biodigital.com>, 2022.

A par do desenho assistido por computadores, as novas tecnologias de imagem permitem perscrutar com precisão as estruturas internas do corpo humano e são sem dúvida ferramentas de diagnóstico poderosas na detecção de patologias e orientação dos tratamentos assimilados no decorrer da formação médica. A evidência da sua eficácia não exclui, no entanto, a utilização do desenho para se compreender as estruturas anatómicas, a manifestação das doenças, refletir sobre os seus efeitos e preparar estratégias terapêuticas face ao problema apresentado. A possibilidade de entender todos estes processos através da representação gráfica, seja por intermédio da observação ou prática do desenho, promove uma aprendizagem holística que poderá potenciar a compreensão e retenção dos conteúdos abordados nos cursos de medicina.

A consciência de que os estudantes precisam de desenvolver novas competências tem contribuído para se repensar o ensino da medicina a nível global, procurando novas estratégias e ferramentas pe-

dagógicas que contribuam qualitativamente para melhorar a formação dos futuros médicos. Neste percurso, a literatura revela um crescente interesse pelo desenho e compreende dois tipos de abordagens: as estratégias utilizadas pelos professores que desenhavam ativamente durante as aulas de anatomia e a criação de workshops e unidades curriculares optativas focadas na representação da anatomia do corpo humano.

Tradicionalmente, em França, os professores de anatomia desenhavam no quadro para explicar aos estudantes as estruturas anatómicas de forma clara e visualmente acessível. Os desenhos realizados partem da representação do sistema esquelético que serve de suporte à descrição de um órgão ou de um grupo de estruturas funcionais (Clavert *et al.*, 2012). O uso do desenho como estratégia didática apela à estimulação da memória visual e concorre de forma dinâmica para a retenção do conhecimento que se vai construindo à medida que a representação evolui, sendo complementada com a exposição oral da informação teórica que dará sentido à representação.

The fact of drawing a line or an outline, by explaining its shape, its function and its purpose attracts the attention of the student and allow him (her) to understand the interest and the integration of the structure in its function. This “live” construction allows to keep the lecture dynamic and to maintain the group attentive, inserting examples, clinical situation,... that will help the student to remember the aim of the lecture (Clavert, Bouchaib, Duparc, & Kahn, 2012).

No Reino Unido, apesar da utilização do desenho não fazer parte da abordagem pedagógica habitualmente utilizada por professores nos cursos de medicina, algumas faculdades desenvolvem programas de aprendizagem complementar (*Student Selected Component*, SSC)¹ que incluem o desenho anatómico como uma componente opcional integrada no currículo dos estudantes (Borrelli *et al.*, 2018). O interesse gerado sobre este assunto levou o departamento de anatomia do King's College London a avaliar a eficácia do desenho no ensino

1 Os SSC compreendem um conjunto de atividades de carácter opcional que fazem parte do programa curricular dos cursos de medicina integrados nas diferentes faculdades do Reino Unido. O objetivo desta formação complementar é enriquecer a aprendizagem dos estudantes de acordo com as suas necessidades educativas e interesses individuais. (ver <https://www.ucl.ac.uk/medical-school/current-mbbs-students/year-information/student-selected-components>)

da anatomia, tendo por base a criação de quatro workshops de desenho independentes dedicados à análise de diferentes partes do corpo humano. Durante as sessões, os professores realizaram desenhos no quadro e incentivaram os estudantes a representar as estruturas anatómicas observadas em cadáveres. Antes e no final dos workshops, os estudantes realizaram um teste de anatomia com respostas de escolha múltipla. Os resultados obtidos indicam uma melhoria na assimilação do conhecimento anatómico, realçando em simultâneo o interesse por parte dos estudantes na integração do desenho no plano curricular das cadeiras de anatomia (Borrelli *et al.*, 2018).

A consciência de que a prática do desenho pode potenciar a capacidade de aprendizagem dos estudantes tem sido debatida no contexto da sua formação académica e explorada como ferramenta pedagógica noutras disciplinas que complementam o estudo da anatomia, entre as quais se destaca a histologia (Balemans *et al.*, 2016). Até ao início do século XX, o ensino da histologia era suportado pela utilização do desenho que cumpria a função de representar as observações realizadas ao microscópio e assegurar o entendimento das relações entre a forma e a função dos tecidos biológicos. No entanto, com o aparecimento da fotografia e da microscopia virtual o desenho parece que se transformou numa ferramenta aparentemente redundante.

Na Faculdade de Medicina da Universidade do Porto (FMUP), Daniel Humberto Pozza é o professor responsável por uma das unidades curriculares de histologia. Embora reconheça que o desenho acompanhou e refletiu o seu desenvolvimento, hoje em dia considera que a sua utilidade se revela na sala de aula como uma ferramenta de apoio ao ensino. Os desenhos que habitualmente faz no quadro durante as aulas de histologia fomentam uma construção dinâmica do conhecimento partilhado entre professor e estudantes. É através da linguagem gráfica que se estabelece o diálogo a partir do qual se vai desmontando a natureza complexa dos conteúdos expostos.

A Fig. 2 representa um dos desenhos realizados na sala de aula que se debruça na análise do aparelho digestivo. Os primeiros contornos surgem na definição da boca e respetiva representação das glândulas salivares, cuja análise se desdobra num conjunto de pequenos desenhos que aprofundam a estrutura celular e o funcionamento destes elementos como se fossem sínteses esquemáticas de observações ao microscópio. À medida que o desenho progride, o professor integra a participação dos estudantes na configuração geral do aparelho diges-

tivo e respetiva análise das suas estruturas internas do ponto de vista histológico, fisiológico e anatómico. Em conjunto, introduzem-se os principais elementos na representação, misturando perspectivas macro e microscópicas, que relacionam a histologia com o conhecimento adquirido nas aulas de anatomia e fisiologia.

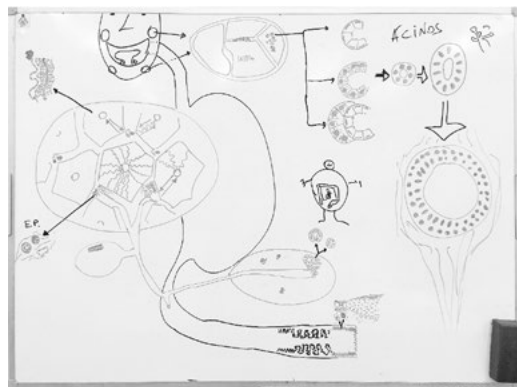


Fig. 2 – Daniel Humberto Pozza, *Aparelho digestivo*, 2021.

A sinergia criada através do desenho, para além de ativar a participação de estudantes nas aulas, resulta em alguns casos na reprodução da representação realizada no quadro. Esta ação de cópia potencia a atenção e a perceção relativamente ao assunto abordado, contribuindo desta forma para a retenção dos conteúdos registados no próprio caderno. Uma espécie de súmula visual da matéria dada e que depois poderá ser utilizada como material de suporte ao estudo das cadeiras de histologia.

As questões em torno da perceção e memorização dos conteúdos lecionados na área da histologia têm sido debatidas por alguns autores que defendem que a prática do desenho favorece a retenção do conhecimento. Monique Balemans, realizou um estudo com 384 estudantes de ciências médicas e biomédicas, divididos aleatoriamente em dois grupos, que participaram em dois módulos de aulas de histologia suportados por matérias distintas e em tempos diferentes. No primeiro módulo, um grupo foi incentivado a desenhar a partir da visualização de imagens histológicas enquanto o outro não desenhou durante as aulas. No segundo módulo, manteve-se a estratégia, mas inverteram-se os grupos. Para determinar a utilidade do desenho e a retenção dos conteúdos, realizaram-se testes de aferição uma, quatro e seis semanas após a intervenção experimental. Os resultados do es-

tudo revelam que, mesmo após quatro ou seis semanas, a capacidade de memorização dos grupos expostos ao método de ensino que recorreu ao desenho aumentou significativamente quando comparada com o grupo antípoda (Balemans et al., 2016).

A presença deste enquadramento, realçado no âmbito do projeto DRAWinU, motivou os professores Daniel Pozza e Isaura Tavares a reformular a avaliação qualitativa da unidade curricular de Histologia I na FMUP. A proposta engloba um conjunto de atividades de carácter obrigatório que determinam o acesso ao exame teórico-prático desta unidade, entre as quais se destacam dois exercícios de desenho: o primeiro consiste na representação em papel ou *tablet* de uma preparação histológica durante a aula e o segundo compreende a realização de um mapa mental ou desenho no quadro correspondente ao resumo da matéria. Em resposta ao primeiro exercício, os estudantes têm desenvolvido desenhos em suporte de papel ou digital sobre os conteúdos abordados na sala de aula.

O desenho da Fig. 3, realizado pela estudante Catarina Dias, corresponde à histologia da córnea e foca-se na análise das estruturas observadas ao microscópio durante a aula. A criação deste esquema descreve a natureza encadeada dos epitélios – pavimentoso simples e estratificado – e serve para organizar os diferentes componentes microscópicos que constituem a região mais anterior do olho. Na ação do desenho, a estudante reuniu um conjunto de competências visuais, motoras e verbais que se traduzem no exercício de traçar, configurar, colorir e legendar a imagem. Todos estes processos têm um impacto positivo na aprendizagem porque ajudam a ativar o pensamento e a expandir o raciocínio, vinculado à articulação entre o perceber e o fazer próprio do desenho, que depois se reflete na sedimentação da informação.

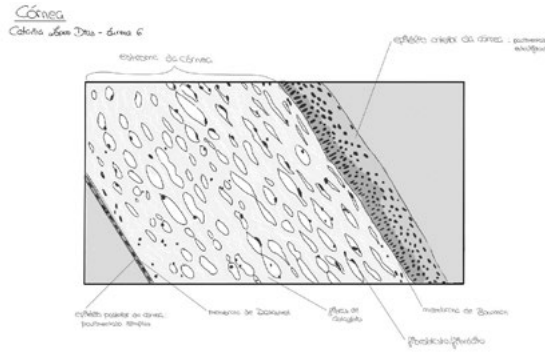


Fig. 3 – Catarina Dias, *Histologia da córnea*, 2022.

Os exemplos apresentados testemunham a utilidade do desenho no contexto da sala de aula independentemente da presença das novas tecnologias. O acesso às imagens histológicas não constitui, em si, uma fonte de conhecimento. A sua interpretação será sempre suportada pelo discurso do professor e estará sujeita à imaginação dos estudantes que perante a observação de um corte histológico, terão de conceber a tridimensionalidade das estruturas em causa e compreender o seu funcionamento. É neste ponto que o desenho pode intervir e ajudar a visualizar, criando conexões entre a teoria e as imagens, de forma a favorecer a aprendizagem e a retenção do conhecimento.

Desenhar para estudar – sebentas de Anatomia e cadernos de desenho

A anatomia, entre todas as ciências, é amplamente reconhecida como a base essencial para a formação do médico. Todos os cursos de medicina incluem o ensino da anatomia, focado no estudo da estrutura e funcionamento do corpo humano, tradicionalmente apoiado na prática da dissecação. Muito embora se reconheçam as mais valias desta estratégia pedagógica, salientando o contato direto dos estudantes com as estruturas anatómicas, o aparecimento das novas tecnologias tem gerado um debate acerca da evolução dos métodos e das ferramentas de ensino da anatomia, estabelecendo comparações entre a prática da dissecação tradicional e a utilização de modelos de plástico, imagens virtuais e programas de realidade aumentada (Tam *et al.*, 2009) (Elizondo-Omaña *et al.*, 2004).

Independentemente de se privilegiar a sua integração nas aulas de anatomia, é preciso reconhecer que estas ferramentas potenciam e ampliam a nossa capacidade de visualização, acrescentando camadas de informação visual (desenhos) e verbal que geram conhecimento, criando simultaneamente conexões entre diferentes estruturas anatómicas para facilitar a compreensão das ligações e o seu respetivo funcionamento. A participação das tecnologias no ensino da anatomia pode potenciar a aprendizagem, principalmente quando estas se focam no domínio do visual.

Alguns estudos procuram desmontar os processos de aprendizagem na tentativa de perceber como é que os estudantes de medicina processam, interpretam, organizam e analisam a informação. De acordo com o modelo VARK, existem quatro modalidades de aprendizagem – visual, auditiva, leitura e cinestésica – através das quais é possível compreender e assimilar a informação. Há estudantes que privilegiam a visualização da informação, outros a audição e a leitura, enquanto que os cinestésicos aprendem através da experiência prática. Ao avaliar a forma como os estudantes se identificam com as diferentes modalidades, o professor Poonam Kharb, percebeu que a maioria dos estudantes de medicina da School of Medical Sciences and Research, prefere um tipo de aprendizagem que integre os quatro estilos (61%). No entanto, os restantes estudantes (39%) elegem uma aprendizagem unimodal destacando em primeiro lugar a modalidade cinestésica (26%), visual (7%), auditiva (4%) e escrita (2%) (Kharb *et al.*, 2013).

A modalidade cinestésica pressupõe uma aprendizagem dinâmica, essencialmente promovida pela estimulação dos sentidos no contacto com a experimentação prática, enquanto que a visual remete para a estimulação da visão através da observação de imagens, desenhos, vídeos, entre outros. Ambas as definições enquadram o exercício do desenho como uma estratégia pertinente na aprendizagem e estudo da anatomia, sobretudo pela necessidade de coordenação entre a visão, a destreza manual e a capacidade de raciocínio que pode motivar os estudantes e consequentemente favorecer o entendimento do corpo humano (Joewono *et al.*, 2018).

Médicos e professores reconhecem que uma parte substancial da informação científica aprendida nos primeiros anos se perde antes de poder ser aplicada nos anos de prática clínica. O inevitável esquecimento de conhecimentos essenciais deve-se muitas vezes à falta de aplicação prática do que é temporariamente memorizado, aquilo a que

Cole caracteriza de “atrofia por desuso” (Custers, 2010). Na tentativa de minimizar o esquecimento de conhecimentos essenciais à prática médica, principalmente nos primeiros anos do percurso académico, o exercício do desenho permite desenvolver a memória visual e alimentar a construção de um arquivo de referências mentais, a partir das quais é possível recordar a morfologia, o posicionamento, as relações e o funcionamento das estruturas anatómicas. O reconhecimento desta valência é absorvido por um grupo alargado de estudantes que desenhavam ativamente durante o seu percurso académico quando precisam de estudar e assimilar toda a informação incorporada na cadeira de anatomia. Ao passar por esta experiência, alguns estudantes referem que se recordam dos desenhos realizados e conseqüentemente dos conteúdos neles explorados – “Once I’ve drawn that, then I understand it, and then the second part is that once you’ve drawn it, I just remember it. I’ll just always remember it.” (Courneya & Cox, 2020).

Nas Fig. 4 e 5 apresentam-se dois desenhos realizados pelos estudantes da Faculdade de Medicina da Universidade do Porto e do Instituto de Ciências Biomédicas Abel Salazar, centrados no estudo da anatomia e que se dividem em dois tipos de abordagem: as sebatas de anatomia e os cadernos de desenho. As sebatas de anatomia são criadas a partir dos guiões de estruturas anatómicas fornecidos pelos professores e que correspondem à identificação dos diferentes sistemas funcionais do corpo humano. Organizadas em folhas A4, servem de suporte ao desenvolvimento dos desenhos que procuram ilustrar e complementar a listagem dos componentes enumerados. O uso da representação dá sentido à terminologia e funciona como uma espécie de sùmula da informação que é preciso compreender e interiorizar antes da aula prática. Dentro da mesma lógica, os cadernos de anatomia apresentam-se como uma ferramenta de estudo, nos quais se destaca a representação da estrutura anatómica consubstanciada pela legendagem dos seus componentes e cuja ligação reflete a aquisição do conhecimento como um todo coeso.

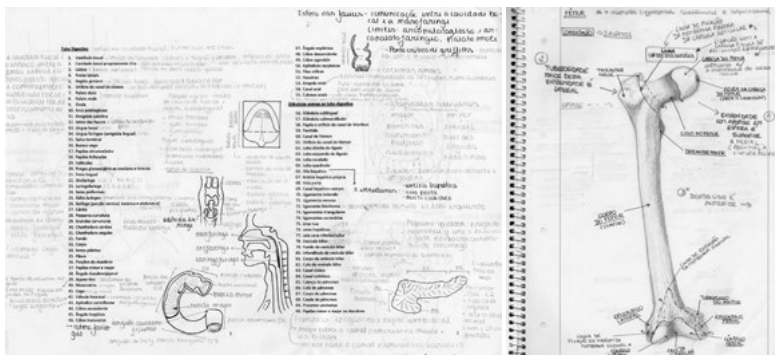


Fig. 4 – Margarida Moreira, *Sistema digestivo*, 2019.

Fig. 5 – Matilde Loyens, *Fêmur*, 2017.

O desenho da Fig. 6 debruça-se no estudo intrincado da artéria subclávia, destacada a vermelho, que atravessa a clavícula e se divide em três porções: a primeira engloba a artéria vertebral, a artéria torácica interna e o tronco tireocervical (repartido em quatro ramos), a segunda corresponde ao tronco costocervical e a terceira à artéria dorsal da escápula que ao passar a borda lateral da primeira costela, continua como artéria axilar. Na ação deste desenho, Ana Marta Cardoso encontra uma forma de visualizar e organizar a informação com o objetivo de expandir o raciocínio, memorizar o posicionamento das artérias em relação ao tórax, identificar as suas ramificações e perceber as relações que estas estruturas estabelecem entre si.

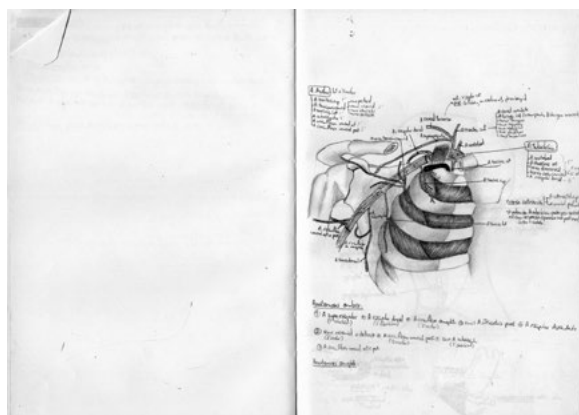


Fig. 6 – Ana Marta Cardoso, *Processos de Estudo de Anatomia Cardiovascular*, 2019.

A execução destes desenhos está muitas vezes ligada ao exercício da cópia realizado com base na observação de ilustrações científicas, algumas da autoria de Frank Netter, que servem de guião para se dissecar com o lápis o interior do corpo humano e poder ver, compreender e assimilar o seu conteúdo. A ação de observar, analisar, interpretar e representar desencadeia um processo cognitivo que se traduz na consolidação do conhecimento. Neste contexto, desenhar pertence ao domínio do pensar e por isso exige atenção, concentração e sentido crítico sobre o que se está a representar. Permite apurar o olhar, desafiar a perceção e a imaginação que poderão ser muito úteis para ir mais além e deslindar a tridimensionalidade do corpo sob diferentes perspetivas.

Diante do exercício do desenho é possível melhorar a capacidade de observação, indispensável ao estudo da anatomia, contribuindo simultaneamente para auxiliar no diagnóstico de doenças no futuro. O desenvolvimento do olhar e da perceção continuam a ser essenciais para os estudantes de Medicina. É através da visão que o médico consegue muitas vezes despistar o problema apresentado pelo doente. Estas questões têm sido exploradas pela Harvard Medical School através do programa *Training the Eye: Improving the Art of Physical Diagnosis*, cuja estrutura promove o desenvolvimento da literacia visual aplicada ao exercício do diagnóstico, suportado pela observação de obras de arte e sessões de desenho (Srivastava *et al.*, 2022). A pertinente inclusão desta ferramenta revela, uma vez mais, o contributo do desenho no amadurecimento de um conjunto de habilidades cruciais no desempenho profissional do médico.

Desenhar para comunicar – interação com os doentes na consulta

Reconhecendo que o ensino e a aprendizagem medicina se apoiam na observação do corpo humano e das imagens que o representam, a prática do desenho pode tornar-se útil não só no entendimento da anatomia, mas também como uma ferramenta importante de comunicação entre médicos e pacientes. Shaaron Ainsworth, professora na University of Nottingham, defende que os estudantes devem ser estimulados a desenhar durante a sua formação académica como estratégia de aprendizagem e comunicação (Ainsworth *et al.*, 2011). Lucy Lyons, investigadora, refere que o ensino do desenho deveria integrar os cursos de medicina para depois ser aplicado na prática médica (Lyons, 2017).

No exercício prático da medicina, o desenho é entendido como uma forma de expressão universal que opera no domínio do visual sem se defrontar com barreiras de ordem linguística ou verbal. A célebre frase – queres que te faça um desenho? – traduz a natureza expedita deste instrumento na ação de tornar visível a complexidade do discurso oral. É precisamente neste ponto que se enquadram os desenhos realizados pela comunidade médica no âmbito das consultas realizadas em ambiente hospitalar.

A comunicação é fundamental para se criar uma base de confiança e segurança entre o médico e o doente em situações de vulnerabilidade. Ana Zão, médica especialista em Medicina Física e de Reabilitação, considera que o desenho é uma ferramenta adicional que facilita o processo de comunicação com o doente e favorece o aumento da literacia em saúde. Os desenhos que faz habitualmente durante as consultas focam a necessidade de explicar uma doença (Fig. 7) e o consequente entendimento das estratégias terapêuticas que se podem desdobrar em intervenções ecoguiadas e exercícios de reabilitação. Face ao caráter intrincado e muitas vezes insuficiente da expressão oral, a ação do desenho promove a visualização e compreensão do problema de saúde, criando em simultâneo um mecanismo de *coping* que ajuda o doente a lidar com a situação. Paralelamente, também é uma ferramenta importante para o doente perceber que tipo de estratégias terapêuticas é que são propostas face ao problema apresentado e porquê.



Fig. 7 – Ana Zão, *Antepulsão cefálica, centro de massa desviado anteriormente*, 2022.

Como médica ligada à fisioterapia de intervenção, Ana Zão realiza frequentemente infiltrações ecoguiadas, e como é habitual faz alguns desenhos (Fig. 8) durante a primeira consulta para explicar ao doente o tipo de tratamento. Posteriormente, quando está a executar a intervenção, ao olhar para o ecógrafo o doente recorda o desenho e sente-se mais seguro porque sabe o que vai acontecer. Neste aspeto, a fisiatra realça que o desenho pode funcionar como um tranquilizante numa situação que poderia ser muito stressante. A observação do ecógrafo e a visualização da agulha tem por vezes um efeito placebo, realçado pela presença do desenho no processo de instrução prévia acerca do tratamento em questão.

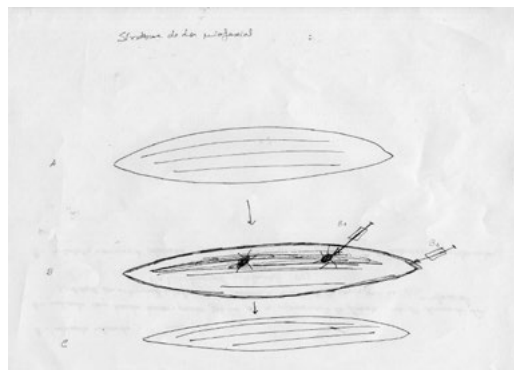


Fig. 8 – Ana Zão, *Explicação da terapêutica aplicada à síndrome de dor miofascial*, 2022.

A presença da imagem é essencial à prática médica, não só porque orienta o processo de diagnóstico, mas também porque fomenta o entendimento da doença e da componente terapêutica. Neste enquadramento, o desenho pode ser substituído por imagens estáticas ou animadas, no entanto Ana Zão faz questão de mencionar que cada doente é único e por isso a ação de fazer um desenho individualizado é muito importante porque permite abordar diferentes tipos de construção e configurações de acordo com as necessidades específicas de cada doente. A realização dos desenhos não incide na visualização genérica da doença manifestada, mas na explicação particular do problema apresentado por cada doente.

Desenhar na consulta é também uma forma de aproximação ao doente, na medida em que se cria a oportunidade de comunicar através de uma linguagem comum. No final da consulta o doente pede para ficar com o desenho e este registo permite interiorizar a intervenção terapêutica que irá realizar no futuro ou recordar o plano de exercícios que deverão ser posteriormente executados, aumentando a adesão ao tratamento e o sucesso da estratégia proposta pelo médico.

RECONHECIMENTO

O trabalho de investigação compilado neste texto também se deve à colaboração da comunidade académica da Faculdade de Medicina da Universidade do Porto e do Instituto de Ciências Biomédicas Abel Salazar. Agradeço aos professores Daniel Humberto Pozza, Isaura Tavares e Ana Zão pelo interesse e cooperação na recolha e análise dos desenhos que foram apresentados. Agradeço também a partilha de desenhos dos estudantes de medicina da Universidade do Porto que manifestaram a vontade de expor a utilidade do desenho como ferramenta de estudo no contexto do seu percurso académico.

Referências

- Ainsworth, S., Prain, V., & Tytler, R. (2011). Drawing to Learn in Science. American In *Association for the Advancement of Science*. Acessível em: <https://nottingham-repository.worktribe.com/preview/708027/Drawingtolearn.pdf>
- Balemans, M. C., Kooloos, J. G., Donders, A. R., & Van der Zee, C. E. (2016). Actual drawing of histological images improves knowledge retention. *Anat Sci Educ*, 9(1), pp. 60-70.
- Borrelli, M., Leung, B., Morgan, M., Saxena, S., & Hunter, A. (2018). Should drawing be incorporated into the teaching of anatomy? *Journal of Contemporary Medical Education*, 1.
- Clavert, P., Bouchaïb, J., Duparc, F., & Kahn, J. L. (2012). A plea for the use of drawing in human anatomy teaching. *Surg Radiol Anat*, 34(8), pp. 787-789.
- Courneya, C. A., & Cox, S. M. (2020). Visual Note Taking for Medical Students in the Age of Instagram. *Health Professions Education*, 6(2), pp. 126-135.
- Elizondo-Omaña, R. E., Morales-Gómez, J. A., Guzmán, S. L., Hernández, I. L., Ibarra, R. P., & Vilchez, F. C. (2004). Traditional teaching supported by computer-assisted learning for macroscopic anatomy. *Anat Rec B New Anat*, 278(1), pp. 18-22.
- Joewono, M., Karmaya, I. N. M., Wirata, G., Yuliana, Widiati, I. G. A., & Wardana, I. N. G. (2018). Drawing method can improve musculoskeletal anatomy comprehension in medical faculty student. *Anat Cell Biol*, 51(1), pp. 14-18.
- Kharb, P., Samanta, P. P., Jindal, M., & Singh, V. (2013). The learning styles and the preferred teaching-learning strategies of first year medical students. *J Clin Diagn Res*, 7(6), pp. 1089-1092.
- Lyons, L. (2017). Drawing connections: art, medicine and surgery. *Design for Health*, 1(1), pp. 29-41.
- Srivastava, A. A., Cohen, S., Hailey, D., Khoshbin, S., Katz, J. T., & Ganske, I. M. (2022). Training the eye, virtually: adapting an art in medicine curriculum for on-line learning. *SN Social Sciences*, 2(8), p. 158.
- Tam, M. D., Hart, A. R., Williams, S., Heylings, D., & Leinster, S. (2009). Is learning anatomy facilitated by computer-aided learning? A review of the literature. *Med Teach*, 31(9), pp. 393-396.

*The current presence of drawing
in the context of medicine:
drawing to teach, study and communicate*

Marina Vale Guedes

Drawing often arises from enthusiasm, the need to put an idea into perspective, and the possibility of thinking through drawing. It emerges in the search for outlines, analysis and preservation, in finding the drawn formula, and at the forefront of communication. In the face of this elasticity, drawing reinvents itself according to its field of action. Once the focus is chosen, it is permeable to the scrutiny of various subjects.

By placing drawing in the scientific sphere, one understands that its usefulness extends to a range of distinct areas. From the biological sciences through the social sciences to the exact sciences, this tool seeks to adapt to the grammar of the subject of study, varying in formal and operational terms. It is from the inherent discourse of each discipline that drawing acts in a specific way, allowing scientists to tailor its potential according to their goals and needs. This awareness serves as a catalyst to explore the connection of drawing to the field of medicine, considering the breadth of its practice throughout an evolutionary path marked by the recurrent and functional use of representation.

In exploring this operational aspect, the presence of drawing in the field of medicine will be analysed within three interconnected frameworks – teaching, studying, and communicating – that characterise its use in a universe of representations with different expressions and functions that converge to expand and consolidate scientific knowledge. Following this sequence, we first reflect on the need to *draw for teaching*, acknowledging the importance and use of drawing

as a didactic tool in the classroom. The possibility of seeing and assimilating knowledge through drawing becomes crucial for medical students who habitually *draw to study*, understand, and memorise anatomical structures. Linked to this practice is the action of *drawing to communicate* with patients during consultations. The awareness that verbal language is sometimes insufficient to unravel the complexity of medical discourse highlights the potential of drawing as a useful communication tool, framing the analysis of the operational aspect of drawing in medicine.

Drawing to teach – didactic strategies and supporting materials

Andreas Vesalius (1514–1564) was the first physician to revolutionise medicine teaching. He corrected numerous errors reproduced over the centuries by those who relied on book knowledge rather than engaging in the practice of dissection. Vesalius adopted a progressive stance by reformulating the teaching method in medicine. His legacy remains prominent in medical programs prioritising dissection as the quintessential method for teaching anatomy.

Simultaneously, photography and graphical representation of the human body remain crucial supporting materials in understanding anatomical structures. Much like Vesalius's work – *De Humani Corporis Fabrica* – reveals the complexity of anatomical structures, 3D visualisation software (Fig. 1) seeks to replace paper versions, enabling the initiation of an interactive journey through the interior of the human body. By manipulating the cursor, one can freely rotate the drawing and observe functional systems from various angles, highlighting their respective components and theoretical information. Navigating the software allows the intuitive execution of actions such as removing layers, identifying structures, and eliminating components, promoting a virtual dissection experience.

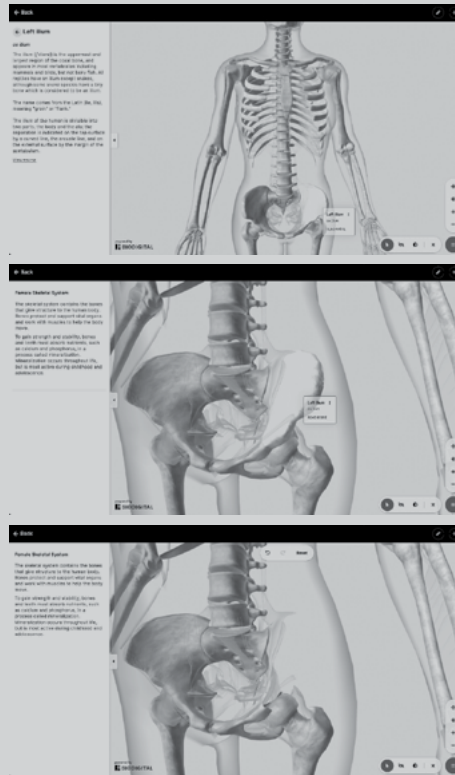


Fig. 1 – 3D human body visualisation software, <https://human.biodigital.com>, 2022.

Alongside computer-aided drawing, new imaging technologies allow for a precise examination of the internal structures of the human body. They are undoubtedly powerful diagnostic tools in detecting pathologies and guiding treatments assimilated during medical training. The evidence of their effectiveness does not exclude the use of drawing to understand anatomical structures and the manifestation of diseases, reflect on their effects, and prepare therapeutic strategies in response to the posed problem. The possibility of comprehending all these processes through graphical representation, whether through observation or the practice of drawing, promotes a holistic learning experience that can enhance the understanding and retention of the content covered in medical programs.

The awareness that students need to develop new skills has led to a global reconsideration of medical education, seeking new strategies and pedagogical tools that qualitatively contribute to im-

proving the training of future physicians. In this context, the literature reveals a growing interest in drawing and encompasses two kinds of approaches: the strategies used by teachers who actively draw during anatomy classes and the creation of workshops and optional courses focused on representing the anatomy of the human body.

Traditionally, in France, anatomy professors draw on the board to explain the anatomical structures to students in a clear and visually accessible way. The drawings start with the representation of the skeletal system, which serves as a basis for describing an organ or a group of functional structures (Clavert *et al.*, 2012). The use of drawing as a teaching strategy stimulates visual memory. It dynamically contributes to knowledge retention as the representation evolves, complemented by the oral presentation of theoretical information that gives meaning to the representation.

The fact of drawing a line or an outline, by explaining its shape, its function and its purpose attracts the attention of the student and allows him (her) to understand the interest and the integration of the structure in its function. This “live” construction allows to keep the lecture dynamic and to maintain the group attentive, inserting examples, clinical situation,... that will help the student to remember the aim of the lecture. (Clavert, Bouchaib, Duparc, & Kahn, 2012, p. 788)

In the United Kingdom, despite drawing not being a commonly used pedagogical approach by professors in medical programs, some colleges develop complementary learning courses (Student Selected Component, SSC)¹ that include anatomical drawing as an optional component integrated into the student curriculum (Borrelli *et al.*, 2018). The interest generated in this subject led the anatomy department at King’s College London to evaluate the effectiveness of drawing in anatomy teaching, based on the creation of four independent drawing workshops dedicated to analysing different parts of the human body. During the sessions, teachers made drawings on the board and encouraged students to represent the anatomical structures observed

1 The SSCs constitute a set of optional activities that are part of the curriculum in medical programs across various faculties in the United Kingdom. The aim of this additional training is to enhance the students’ learning experience based on their educational needs and individual interests. (see www.ucl.ac.uk/medical-school/current-mbbs-students/year-information/student-selected-components).

in cadavers. Students took an anatomy test with multiple-choice answers before and at the end of the workshops. The results indicate an improvement in the assimilation of anatomical knowledge, simultaneously highlighting students' interest in integrating drawing into the curriculum of anatomy courses (Borrelli *et al.*, 2018).

The awareness that the practice of drawing can enhance students' learning abilities has been discussed in the context of their academic training and explored as a pedagogical tool in other disciplines that complement the study of anatomy, notably histology (Balemans *et al.*, 2016). Until the early 20th century, histology teaching was supported by the use of drawing, which served to represent observations made under the microscope and ensure an understanding of the relationships between the form and function of biological tissues. However, with the advent of photography and virtual microscopy, drawing apparently become a redundant tool.

At the Faculty of Medicine of the University of Porto (FMUP), Daniel Humberto Pozza is the professor responsible for one of the histology courses. Although he acknowledges that drawing has accompanied and reflected its development, he now considers its utility in the classroom as a supportive teaching tool. The drawings he routinely creates on the board during histology classes foster a dynamic construction of shared knowledge between the professor and students. It is through graphic language that dialogue is established, gradually unravelling the complex nature of the content.

Fig. 2 depicts one of the drawings created in the classroom, focusing on the analysis of the digestive system. The initial outlines emerge in defining the mouth and the corresponding representation of salivary glands, with the analysis unfolding into a series of small drawings that delve into the cellular structure and functioning of these elements as if they were schematic syntheses of microscope observations. As the drawing progresses, the professor involves the students in shaping the overall configuration of the digestive system and analysing its internal structures from a histological, physiological, and anatomical perspective. Together, they introduce the key elements in the representation, blending macro and microscopic perspectives that connect histology with the knowledge acquired in anatomy and physiology classes.

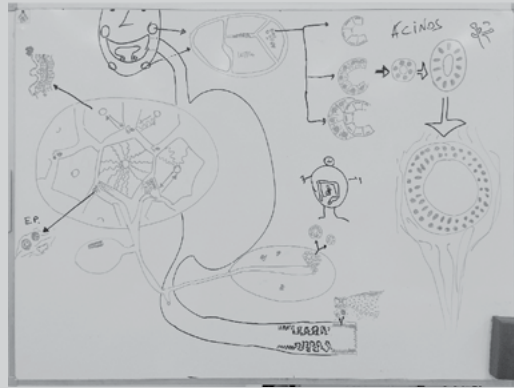


Fig. 2 – Daniel Humberto Pozza,
Digestive system, 2021

Besides fostering student participation in classes, the synergy created by drawing often results in the reproduction of the representation made on the board. This copying action enhances attention and perception regarding the curriculum, thus contributing to retaining the content recorded in their notebooks. It serves as a visual summary of the subject matter and can be used as supporting material for studying histology courses.

Questions surrounding the perception and memorisation of content taught in the field of histology have been debated by some authors who argue that the practice of drawing promotes knowledge retention. Monique Balemans conducted a study with 384 students in medical and biomedical sciences, randomly divided into two groups participating in two histology modules supported by different subject matters and at different times. In the first module, one group was encouraged to draw from histological images, while the other did not draw during classes. In the second module, the strategy was maintained, but the groups were reversed. Assessment tests were conducted one, four, and six weeks after the experimental intervention to determine the usefulness of drawing and content retention. The study results reveal that, even after four or six weeks, the memorisation capacity of the groups exposed to the teaching method involving drawing increased significantly compared to the opposing group (Balemans *et al.*, 2016).

The presence of this framework, highlighted in the DRAW-inU project, motivated professors Daniel Pozza and Isaura Tavares to reformulate the qualitative assessment of the course Histology I at FMUP. The proposal includes a set of mandatory activities that determine access to the theoretical-practical exam for this course, among which two drawing exercises stand out: the first involves the representation on paper or tablet of a histological preparation during class, and the second involves creating a mind map or drawing on the board corresponding to the summary of the subject matter. In response to the first exercise, students have been developing drawings on paper or digital support based on the content covered in class.

The drawing in Fig. 3, made by student Catarina Dias, addresses the histology of the cornea and focuses on the analysis of structures observed under the microscope during class. The creation of this scheme describes the interconnected nature of the epithelia – simple and stratified squamous – and serves to organise the microscopic components that make up the anterior region of the eye. In the act of drawing, the student brought together a set of visual, motor, and verbal skills that translate into the exercise of outlining, configuring, colouring, and labelling the image. All these processes have a positive impact on learning because they help trigger thinking and expand reasoning, linked to the articulation between perceiving and doing inherent to drawing, which is then reflected in the sedimentation of information.

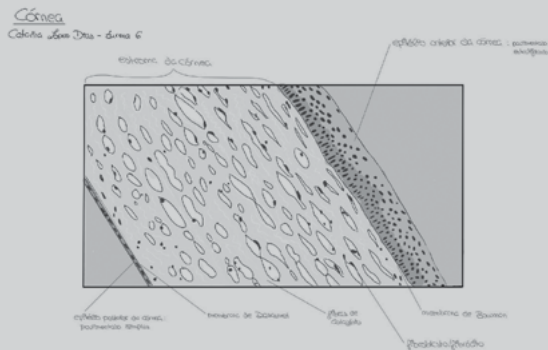


Fig. 3 – Catarina Dias,
Histology of the Cornea, 2022.

These examples attest to the utility of drawing in the classroom context, regardless of the presence of new technologies. Access to histological images is not, in itself, a source of knowledge. Its interpretation will always be supported by the professor's discourse and subject to the imagination of students who, when observing a histological section, must conceive the three-dimensionality of the structures in question and understand their functioning. At this point, drawing can intervene and support visualisation, creating connections between theory and images, thereby facilitating learning and the retention of knowledge.

Drawing to study – Anatomy handbooks and sketchbooks

Among all the sciences, anatomy is widely recognised as the essential foundation for medical training. All medical programs include the teaching of anatomy, focused on studying the structure and functioning of the human body, traditionally supported by the practice of dissection. Although the benefits of this pedagogical strategy are acknowledged because of students' direct contact with anatomical structures, the emergence of new technologies has sparked a debate about the evolution of anatomy teaching methods and tools, establishing comparisons between traditional dissection practice and the use of plastic models, virtual images, and augmented reality programs (Tam *et al.*, 2009) (Elizondo-Omaña *et al.*, 2004).

Regardless of the priority given to their integration into anatomy classes, it is necessary to acknowledge that these tools enhance and expand our visualisation capabilities, adding layers of visual (drawings) and verbal information that generate knowledge while simultaneously relating different anatomical structures to facilitate understanding of their connections and respective functioning. The involvement of technologies in anatomy teaching can enhance learning, mainly when they focus on the visual domain.

Some studies seek to dissect the learning processes to understand how medical students process, interpret, organise, and analyse information. According to the VARK model, there are four learning modalities – visual, auditory, reading, and kinesthetic – through which it is possible to comprehend and assimilate information. Some students prefer visualising information, while others favour auditory and reading modalities, and kinesthetic learners acquire knowledge through practical experience. Assessing how students identify with these different modalities, Professor Poonam Kharb observed that most medical students at the School of Medical Sciences and Research prefer a learning style that integrates all four styles (61%). However, the remaining students (39%) opt for unimodal learning, with kinesthetic modality taking the lead (26%), followed by visual (7%), auditory (4%), and written (2%) modalities (Kharb *et al.*, 2013).

The kinesthetic modality involves dynamic learning, primarily promoted by stimulating the senses through hands-on experimentation. In contrast, the visual modality relies on visual stimulation by observing images, drawings and videos, among other resources. Both definitions frame the practice of drawing as a relevant strategy in the learning and study of anatomy, mainly due to the need for coordination between vision, manual dexterity, and reasoning ability that can motivate students and consequently enhance the understanding of the human body (Joewono *et al.*, 2018).

Physicians and professors acknowledge that a substantial part of the scientific information learned in the early years is forgotten before it can be applied in clinical practice. The inevitable forgetting of essential knowledge is often due to the lack of practical application of what is temporarily memorised, a phenomenon Cole characterises as “atrophy by disuse” (Custers, 2010). In an attempt to minimise the forgetting of essential knowledge for medical practice, especially in the early years of academic training, the practice of drawing allows for

the development of visual memory and the construction of a mental reference archive. From these references, it is possible to recall the morphology, positioning, relationships, and functioning of anatomical structures. This benefit is recognised by a broad group of students who actively draw during their academic training when they need to study and assimilate all the information framed in the anatomy course. Going through this experience, some students mention that they remember the drawings they created and, consequently, the content explored in them – “Once I’ve drawn that, then I understand it, and then the second part is that once you’ve drawn it, I just remember it. I’ll just always remember it” (Courneya & Cox, 2020).

Figs. 4 and 5 show two drawings created by students from the Faculty of Medicine of the University of Porto and the School of Medicine and Biomedical Sciences. These drawings focus on the study of anatomy and are divided into two types of approaches: anatomy handbooks and sketchbooks. Anatomy handbooks are created from the scripts of anatomical structures provided by professors, identifying the different functional systems of the human body. Organised on A4 sheets, they support the development of drawings seeking to illustrate and complement the listing of enumerated components. The use of representation gives meaning to the terminology and functions as a kind of summary of the information that needs to be understood and internalised before the practical class. Following the same logic, anatomy sketchbooks serve as a study tool, highlighting the representation of the anatomical structure substantiated by the labelling of its components. The connection between them reflects the acquisition of knowledge as a cohesive whole.

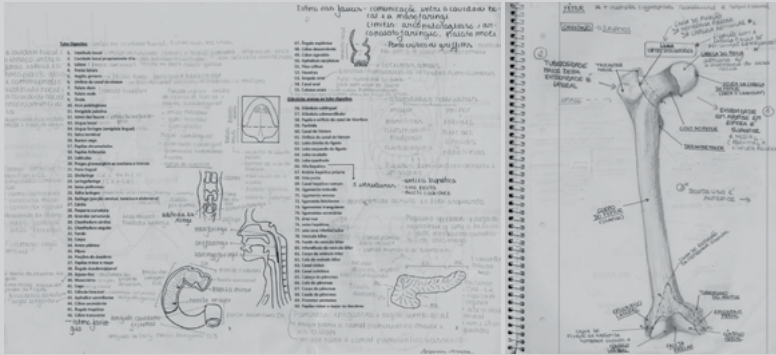


Fig. 4 – Margarida Moreira, *Digestive system*, ICBAS, 2019.

Fig. 5 – Matilde Loyens, *Femur*, FMUP, 2017.

Drawing in Fig. 6 addresses the intricate study of the subclavian artery, highlighted in red, which crosses the clavicle and divides into three portions: the first includes the vertebral artery, the internal thoracic artery, and the thyrocervical trunk (divided into four branches), the second corresponds to the costocervical trunk, and the third to the dorsal scapular artery, which, after passing the lateral border of the first rib, continues as the axillary artery. Through this drawing, Ana Marta Cardoso finds a way to visualise and organise information to expand the reasoning, memorise the position of the arteries in relation to the thorax, identify their branches, and understand the relationships these structures establish with each other.

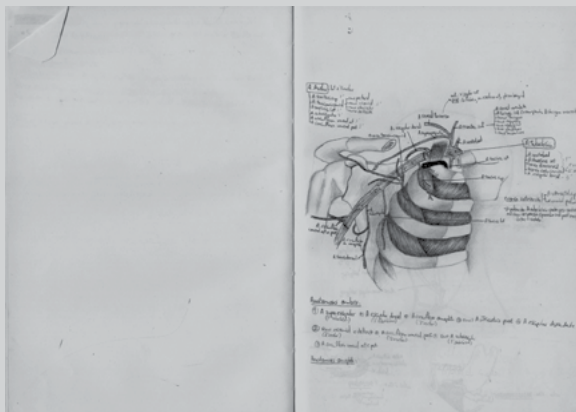


Fig. 6 – Ana Marta Cardoso, *Cardiovascular Anatomy Study Processes*, 2019.

These drawings are often connected to the exercise of copying by observing scientific illustrations, some by Frank Netter, serving as a guide to dissect the interior of the human body with a pencil and to see, understand, and assimilate its content. The action of observing, analysing, interpreting, and representing triggers a cognitive process that translates into the consolidation of knowledge. In this context, drawing belongs to the domain of thinking and, therefore, requires attention, concentration, and a critical sense of what is being represented. It allows refining the gaze, challenging perception and imagination, which can be very useful to go beyond and unravel the three-dimensionality of the body from different perspectives.

In the face of drawing's exercise, it is possible to improve the capacity for observation, which is essential for the study of anatomy, simultaneously contributing to the diagnosis of diseases in the future. The development of sight and perception remains essential for medical students. Through vision, the doctor can often rule out the problem presented by the patient. Harvard Medical School has explored these issues through the program *Training the Eye: Improving the Art of Physical Diagnosis*, whose structure promotes the development of applied visual literacy to the diagnosis, supported by the observation of works of art and drawing sessions (Srivastava *et al.*, 2022). The pertinent inclusion of this tool once again reveals the contribution of drawing to the development of a set of crucial skills in the professional performance of the physician.

Drawing to communicate – interactions with patients in the consultation

Recognising that the teaching and learning of medicine rely on observing the human body and the images that represent it, the practice of drawing can become useful not only in understanding anatomy but also as an important communication tool between physicians and patients. Shaaron Ainsworth, a professor at the University of Nottingham, argues that students should be encouraged to draw during their academic training as a learning and communication strategy (Ainsworth *et al.*, 2011). Lucy Lyons, an artist and researcher, suggests that drawing instruction should be integrated into medical programs to be applied later in medical practice (Lyons, 2017).

In the practical exercise of medicine, drawing is understood as a universal form of expression that operates in the visual domain without facing linguistic or verbal barriers. The well-known sentence – “Do you want me to draw you a picture?” – translates the straightforward nature of this tool in making visible the complexity of verbal discourse. It is precisely at this point that the drawings made by the medical community in the context of hospital consultations fit in.

Communication is essential to create a foundation of trust and safety between the physician and the patient in situations of vulnerability. Ana Záo, a specialist in Physical Medicine and Rehabilitation, believes that drawing is an additional tool that facilitates the communication process with the patient and promotes increased health literacy. The drawings she routinely creates during consultations focus on explaining a disease (Fig. 7) and the consequent understanding of therapeutic strategies that may involve guided interventions and rehabilitation exercises. Faced with the intricate and often insufficient nature of verbal expression, the act of drawing promotes visualisation and understanding of the health problem while simultaneously creating a *coping* mechanism to help the patient deal with the situation. Additionally, it is also an important tool for the patient to understand the type of therapeutic strategies to address the problem and why.



Fig. 7 – Ana Zão, *Cephalic antepulsion, centre of mass shifted anteriorly*, 2022.

As a physician specialising in interventional physiatry, Ana Zão frequently performs ultrasound-guided infiltrations. During the initial consultation, she often draws to explain the type of treatment to the patient (Fig. 8). Later, when conducting the intervention and the patient looks at the ultrasound, they recall the drawing and feel more secure because they know what to expect. The physiatrist emphasises that the drawing can function as a calming factor in a situation that could be very stressful. The observation of the ultrasound and the visualisation of the needle sometimes have a placebo effect, enhanced by the presence of drawing in the process of prior instruction regarding the treatment.

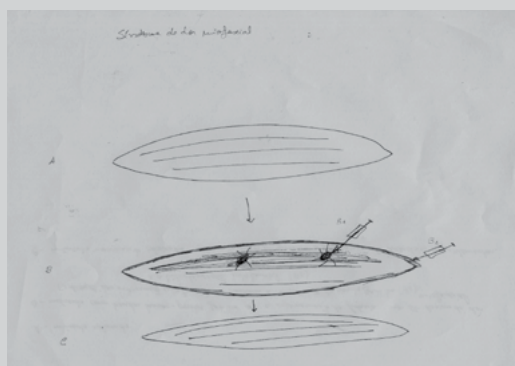


Fig. 8 – Ana Zão, *Explanation of the therapy applied to myofascial pain syndrome*, 2022.

The presence of images is essential in medical practice, not only because it guides the diagnostic process but also because it fosters an understanding of the disease and its therapeutic components. In this context, the drawing can be replaced by static or animated images; however, Ana Záo emphasises that each patient is unique. Therefore, creating an individualised drawing is crucial because it allows for addressing different types of structures and configurations according to each patient's specific needs. The making of drawings does not focus on the generic visualisation of the manifested disease but on the particular explanation of the problem posed by each patient.

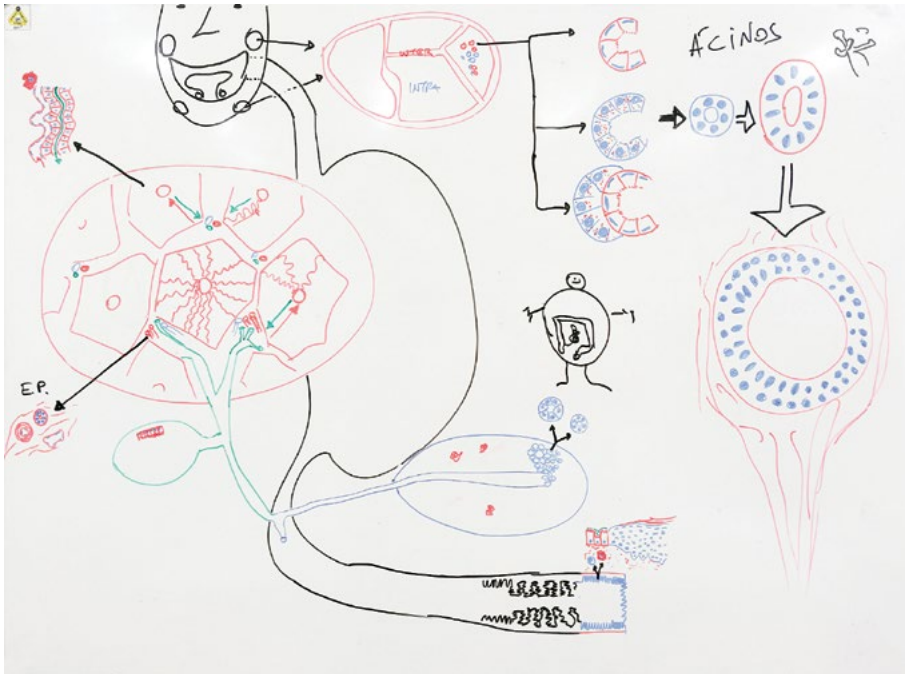
Drawing during the consultation is also a way to connect with the patient, creating an opportunity to communicate through a common language. At the end of the consultation, the patient asks to keep the drawing, and this record helps internalise the therapeutic intervention to be performed in the future or recall the exercise plan to be executed later, increasing adherence to the treatment and the success of the strategy proposed by the physician.

ACKNOWLEDGMENT

The research work compiled in this text is also owed to the collaboration of the academic community at the Faculty of Medicine of the University of Porto and the School of Medicine and Biomedical Sciences Abel Salazar. I want to express my gratitude to Professors Daniel Humberto Pozza, Isaura Tavares, and Ana Záo for their interest and cooperation in collecting and analysing the presented drawings. I also thank the sharing of drawings by medical students from the University of Porto, who expressed their willingness to demonstrate the utility of drawing as a tool for learning in the context of their academic path.

References

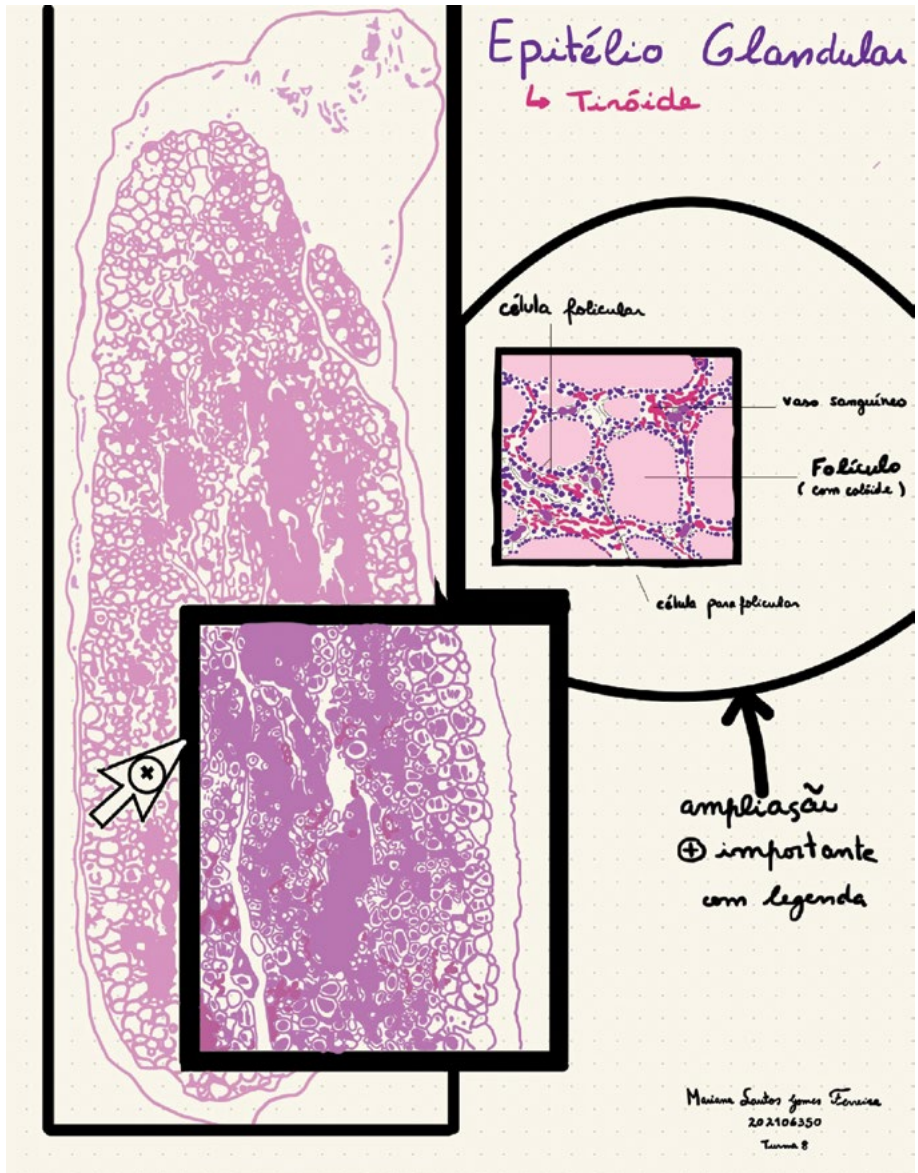
- Ainsworth, S., Prain, V., & Tytler, R. (2011). Drawing to Learn in Science. American In *Association for the Advancement of Science*. Accessible at: <https://nottingham-repository.worktribe.com/preview/708027/Drawingtolearn.pdf>
- Balemans, M. C., Kooloos, J. G., Donders, A. R., & Van der Zee, C. E. (2016). Actual drawing of histological images improves knowledge retention. *Anat Sci Educ*, 9(1), pp. 60-70.
- Borrelli, M., Leung, B., Morgan, M., Saxena, S., & Hunter, A. (2018). Should drawing be incorporated into the teaching of anatomy? *Journal of Contemporary Medical Education*, 1.
- Clavert, P., Bouchaïb, J., Duparc, F., & Kahn, J. L. (2012). A plea for the use of drawing in human anatomy teaching. *Surg Radiol Anat*, 34(8), pp. 787-789.
- Courneya, C. A., & Cox, S. M. (2020). Visual Note Taking for Medical Students in the Age of Instagram. *Health Professions Education*, 6(2), pp. 126-135.
- Elizondo-Omaña, R. E., Morales-Gómez, J. A., Guzmán, S. L., Hernández, I. L., Ibarra, R. P., & Vilchez, F. C. (2004). Traditional teaching supported by computer-assisted learning for macroscopic anatomy. *Anat Rec B New Anat*, 278(1), pp. 18-22.
- Joewono, M., Karmaya, I. N. M., Wirata, G., Yuliana, Widiati, I. G. A., & Wardana, I. N. G. (2018). Drawing method can improve musculoskeletal anatomy comprehension in medical faculty student. *Anat Cell Biol*, 51(1), pp. 14-18.
- Kharb, P., Samanta, P. P., Jindal, M., & Singh, V. (2013). The learning styles and the preferred teaching-learning strategies of first year medical students. *J Clin Diagn Res*, 7(6), pp. 1089-1092.
- Lyons, L. (2017). Drawing connections: art, medicine and surgery. *Design for Health*, 1(1), pp. 29-41.
- Srivastava, A. A., Cohen, S., Hailey, D., Khoshbin, S., Katz, J. T., & Ganske, I. M. (2022). Training the eye, virtually: adapting an art in medicine curriculum for on-line learning. *SN Social Sciences*, 2(8), p. 158.
- Tam, M. D., Hart, A. R., Williams, S., Heylings, D., & Leinster, S. (2009). Is learning anatomy facilitated by computer-aided learning? A review of the literature. *Med Teach*, 31(9), pp. 393-396.



2 *Aparelho digestivo / Digestive system*

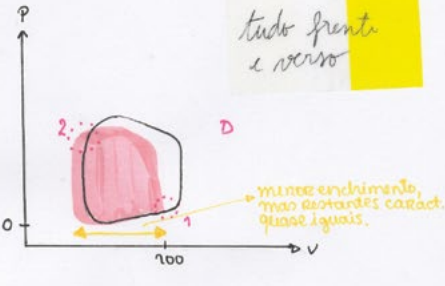
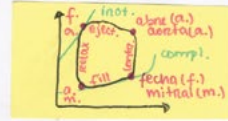
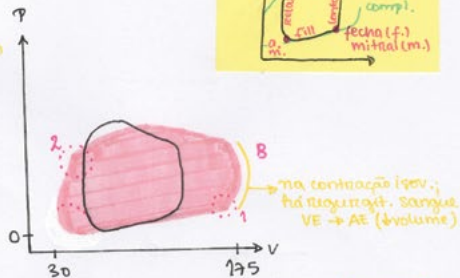
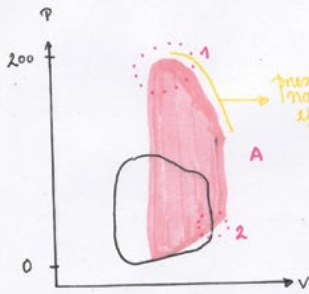
Daniel Humberto Pozza, 2021

Desenho sobre superfície de aço lacado branco com caneta hidrográfica vermelha, azul, preta e verde / Red, blue, black and green marker pen drawing over lacquered steel magnetic board, 100 x 120 cm
FCNAUP/FMUP

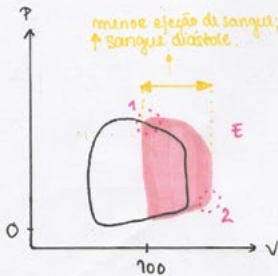


- 3 *Tireóide: epitélio Glandular / Thyroid: glandular epithelium*
Mariana Ferreira, 2022
Desenho digital realizado em tablet / Digital drawing on tablet
FMUP

ansas P/V patológicas



tudo frente
e verso



A: estenose aórtica

- 1: volume telediastólico ↑↑ (estreitamento val. aórtica)
 - 2: volume telediastólico ↑ (Resíduo da sístole prévia, ↑ pré-c.)
- $\Delta V \downarrow$: ↓ volume de ejeção; ↑ sangue residual no VE.
 $\Delta P \uparrow \uparrow$: Resistência da válvula aórtica ↑

B: Regurgitação mitral

- 1: vol. telediastólico ↑ (sangue regurgitado do ciclo ant.)
 - 2: vol. telesiistólico ↓ (↑ vol. ejeção; ↓ pós carga no VE)
- $\Delta V \uparrow$: ↑ vol. ejeção para aorta; perda de sangue de VE/ AE
↑ pré carga → Frank Starling → ↑ débito ♥

C: Regurgitação aórtica

- 1: vol. telediastólico ↑ (sangue regurgitado da aorta) - ↑ pré-c.
- $\Delta V \uparrow$: ↑ sangue AE → VE + sangue que volta da aorta
↑ pré carga → Frank Starling → ↑ débito ♥

D: Estenose mitral

- 1: vol. telediastólico ↓ (↓ sangue AE → VE)
 - 2: vol. telesiistólico ↓ (↓ pós carga)
- ↓ pré carga → ↓ débito → ↑ pressão arterial

E: falência sistólica

- 1: vol. telesiistólico ↑ (↓ contractilidade de VE)
 - 2: vol. telediastólico ↑ (compensação; ↑ pré carga "acumulada")
- $\Delta V \downarrow$: ↓ contractilidade; ↓ vol. ejeção; ↓ débito
+ S3/S4 gallop

4 Ansas pressão/volume Patológicas / Volume/pressure loops in pathological situations

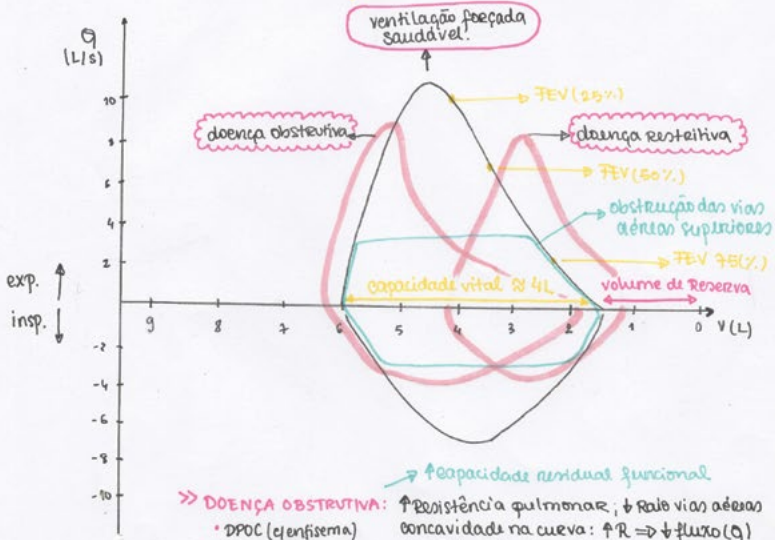
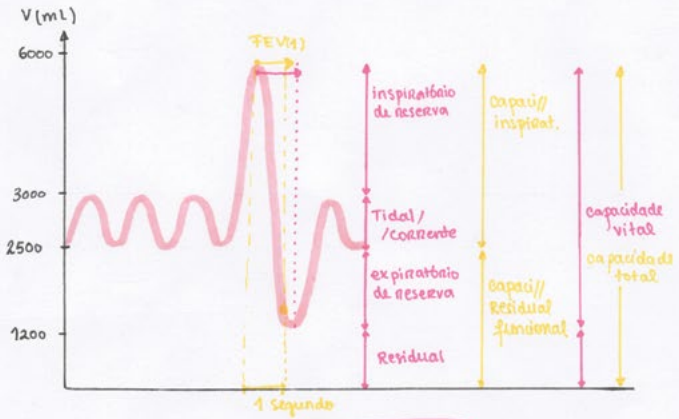
Mariana Neves, 2022

Marcador de água e canetas de gel sobre papel

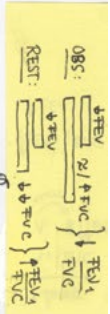
/ Water marker and gel pens on paper, 29,7 x 21,1 cm

ICBAS

espirometria e ansa Q/V

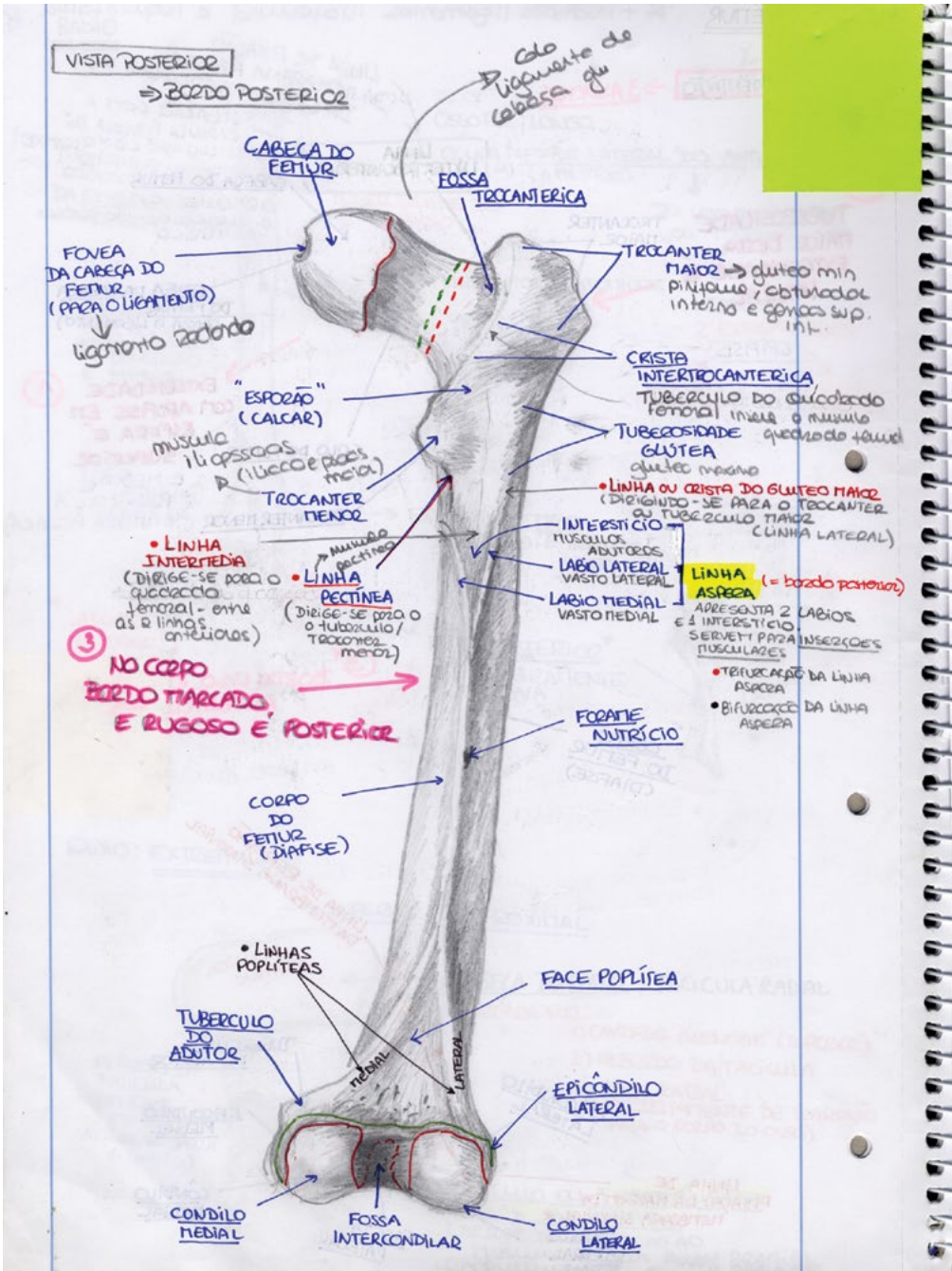


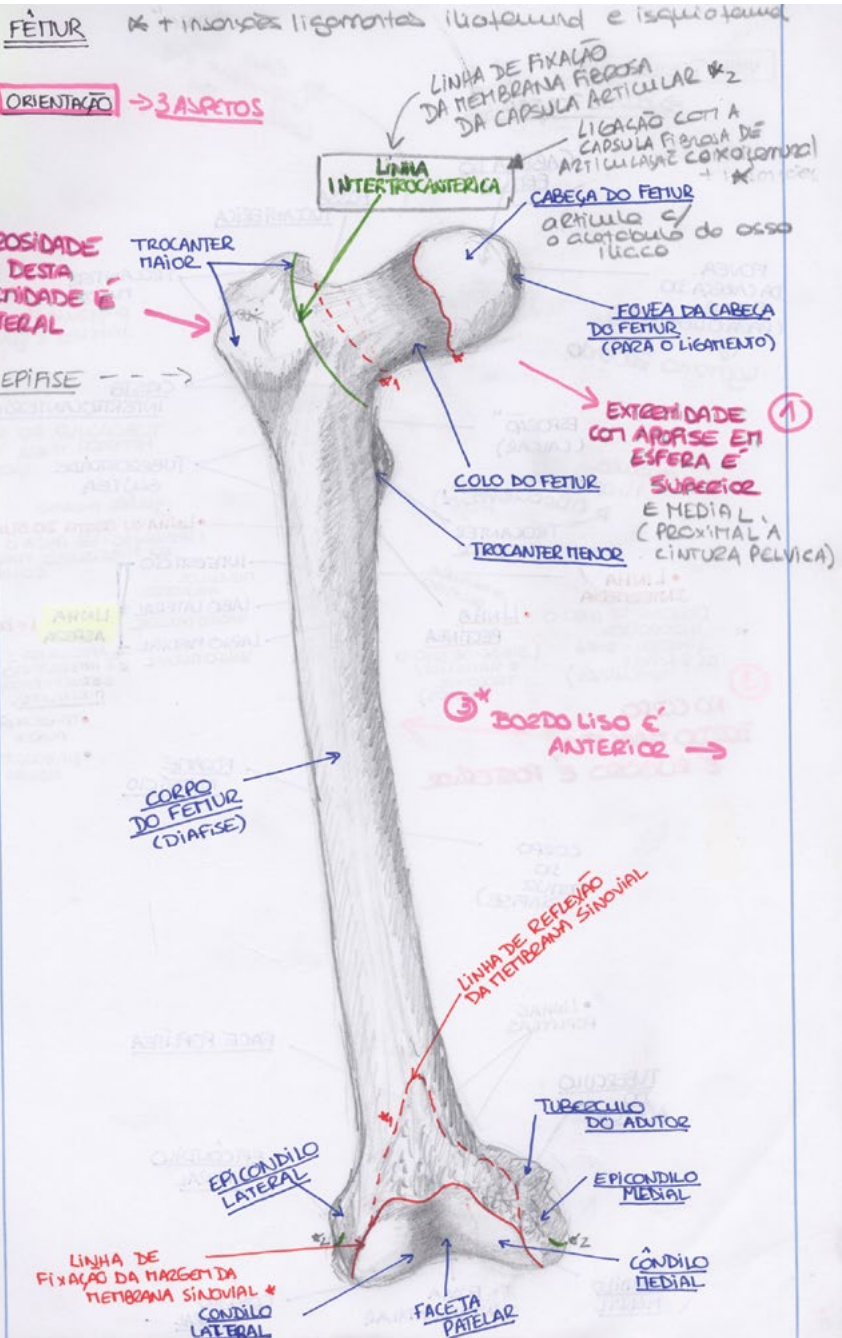
- ↑ Capacidade residual funcional
- >> **DOENÇA OBSTRUTIVA:** ↑ Resistência pulmonar; ↓ Rato vias aéreas
 concavidade na curva: ↑ R ⇒ ↓ Fluxo (Q)
 ↳ afeta primeiro o FEV 75%. Quando ligeira
 ↳ why? + colapsada ⇒ ↑ Resistência ⇒ ↓ Q
 - >> **DOENÇA RESTRITIVA:** ↓ capacidade de expansão (↓ complacência)
 curva mais estreita devido
 à ↓ na capacidade vital
 ↳ why? ↓ complacência ⇒ ↓ ΔV



5 *Espirometria e ansas ventilação/perfusão*
/ Spirometry and ventilation/perfusion loop
 Mariana Neves, 2022

Marcador de água e canetas de gel sobre papel
 / Water marker and gel pens on paper, 29,7 x 21,1 cm
 ICBAS





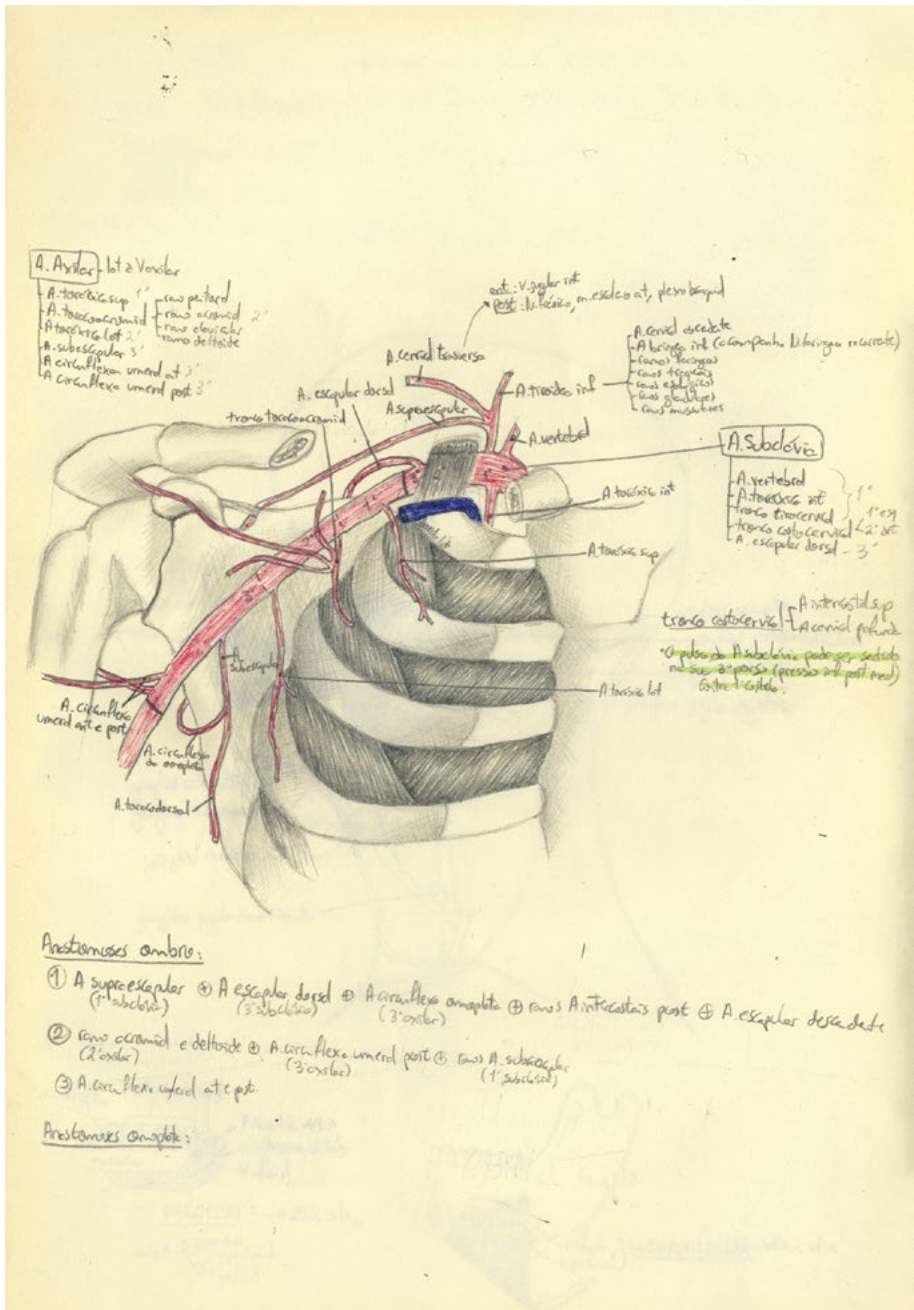
6 *Processos de Estudo de Anatomia sobre o fêmur*

/ Anatomy Study Processes on the femur

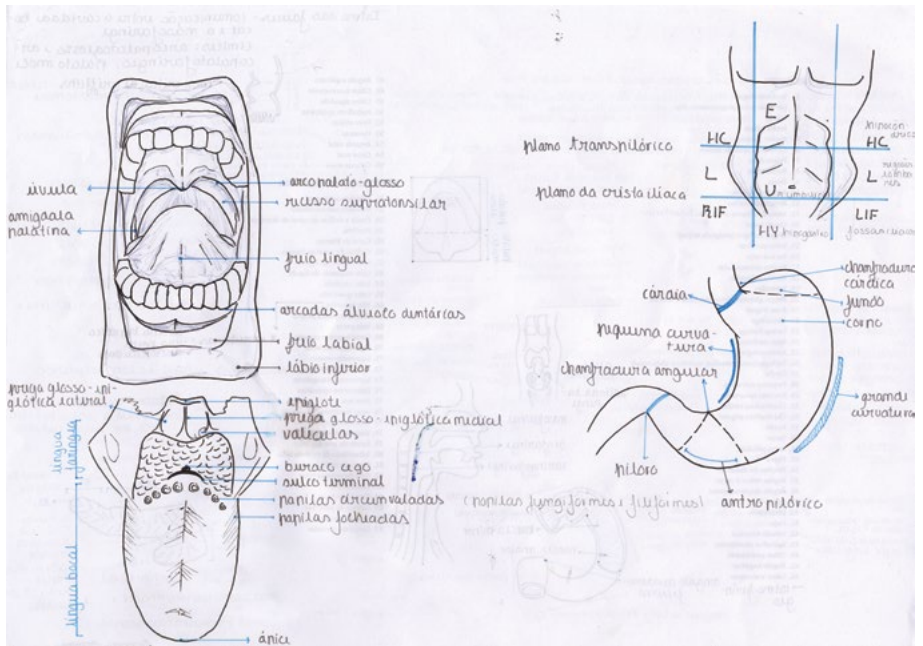
Matilde Loyens, 2017

Grafite, marcadores de ponta fina azul, verde, vermelho e preto e marcador rosa sobre papel / Graphite, blue, green, red and black fine point markers and pink marker on paper, 29,7 x 44,4 cm

FMUP

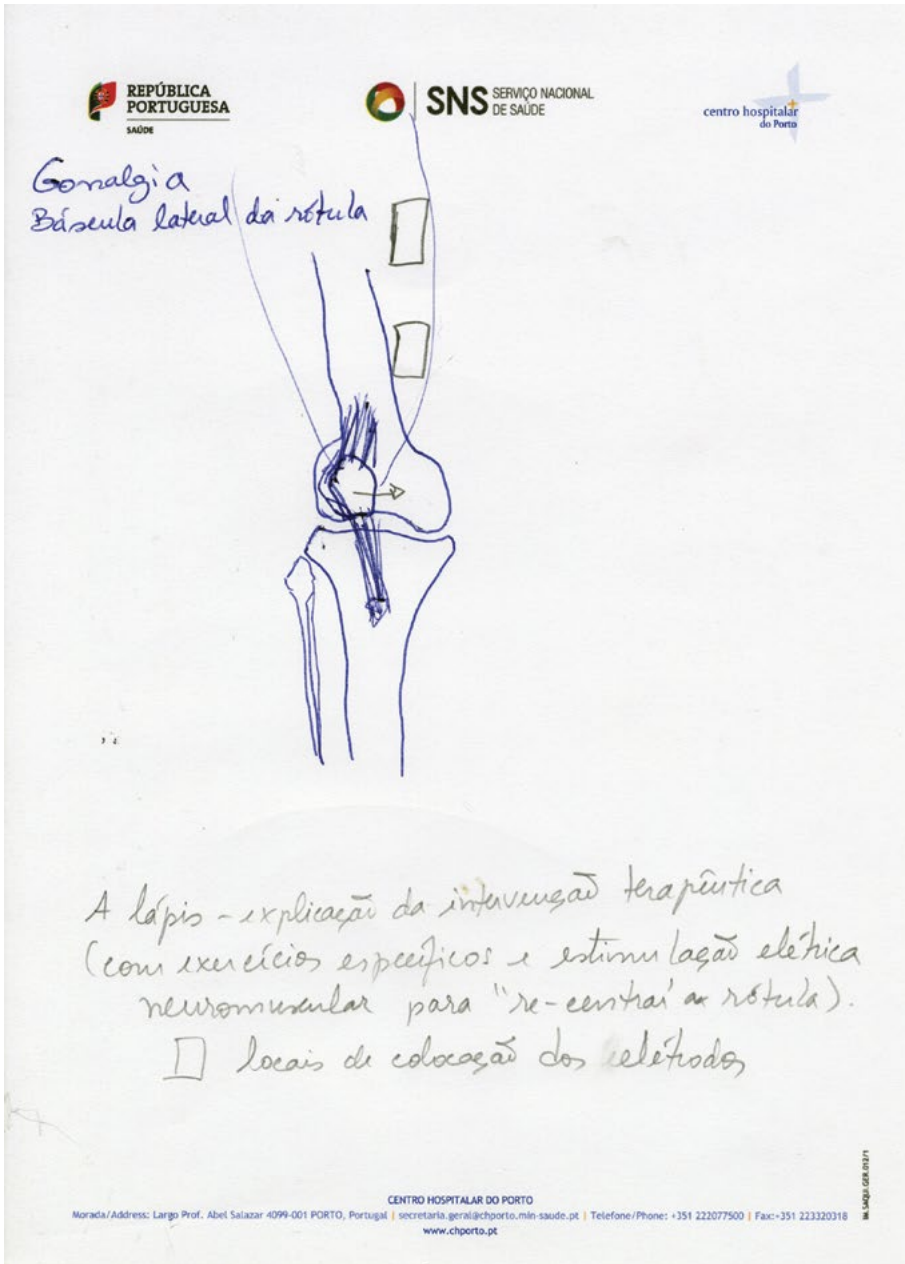


- 8 *Processos de Estudo de Anatomia Cardiovascular: Morfologia do Ombro e Sistema Vasculor / Cardiovascular Anatomy Study Processes: Morphology of the Shoulder and Vascular System*
Ana Marta Cardoso, 2019
Grafite e esférogáficas vermelha e azul sobre papel
/ Graphite and red and blue ballpoint pens on paper, 20,7 x 14,2 cm
FMUP



- 10 *Processos de Estudo de Anatomia: Início do Tubo Digestivo, Boca, Língua, Regiões do Abdômen e Estômago / Anatomy Study Processes: Beginning of the Digestive Tract, Mouth, Tongue, Regions of the Abdomen and Stomach*
Margarida Moreira, 2019

Grafite e marcadores de ponta fina azul, cinza e preto sobre papel
/ Graphite and blue, grey and black fine point markers on paper, 21 x 29,7 cm
ICBAS



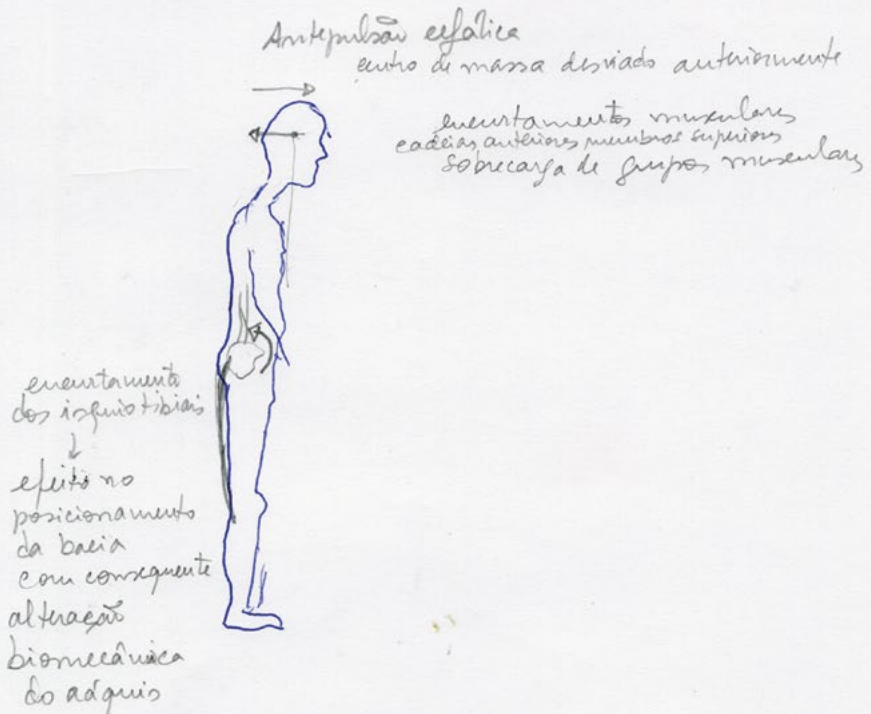
- 11 *Desenho em contexto hospitalar: explicação para o doente em consulta sobre a intervenção terapêutica (com exercícios específicos e estimulação elétrica neuromuscular) para "re-centrar" a rótula / Drawing in a hospital context. Explanation to the patient during consultation about the therapeutic intervention (with specific exercises and neuromuscular electrical stimulation) to "re-center" the kneecap*

Ana Zão, 2022

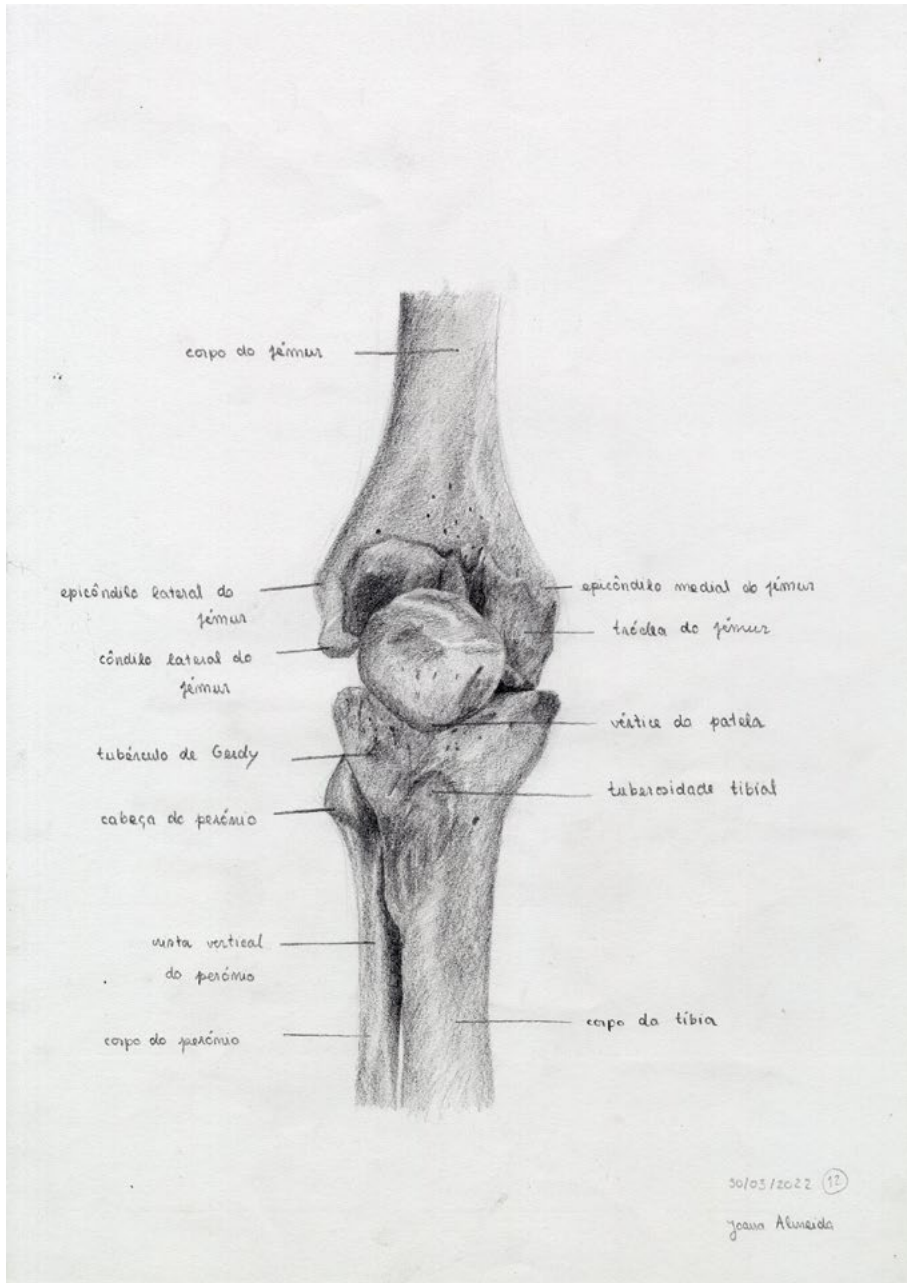
Grafite e esferográfica sobre papel

/ Graphite and ballpoint pen on paper, 21 x 14,8 cm

Centro Hospitalar Universitário do Porto



- 12 *Desenho em contexto hospitalar. Explicação para o doente na consulta sobre alterações posturais: anteversão cefálica, encurtamentos musculares dos membros superiores e dos ísquiotibiais tibiais com efeito no posicionamento da bacia e consequentes alterações biomecânicas / Drawing in a hospital context. Explanation to the patient during consultation about postural changes: cephalic anteversion, muscle shortening of the upper limbs and tibial hamstrings with effect on the positioning of the pelvis and consequent biomechanical changes*
Ana Zão, 2022
Grafite e esferográfica sobre papel / Graphite and ballpoint pen on paper, 21 x 14,8 cm
Centro Hospitalar Universitário do Porto

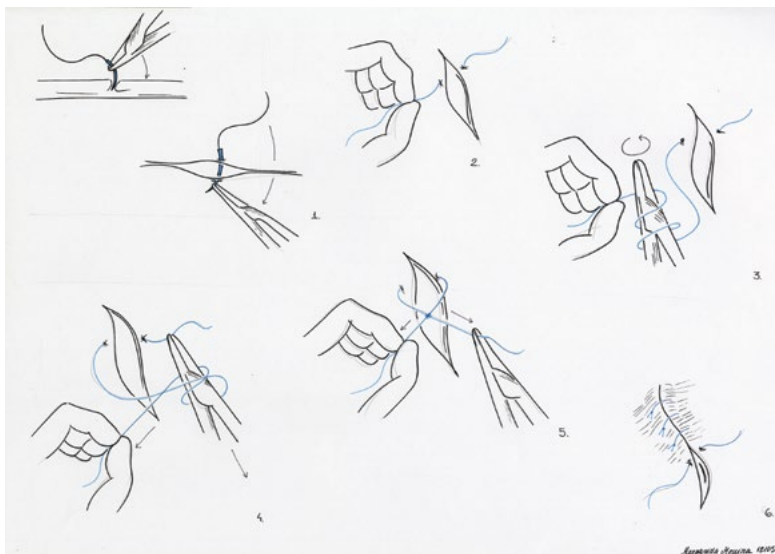


- 13 *Exercício de desenho realizado na Unidade Curricular de Competências Transversais de Desenho e Observação para Médicos. Representação da articulação do joelho / Drawing exercise carried out in the course of transversal competencies Drawing and Observation for Physicians. Representation of the knee articulation*
 Joana Almeida, 2022
 Grafite sobre papel / Graphite on paper, 29,7 x 42 cm
 FBAUP



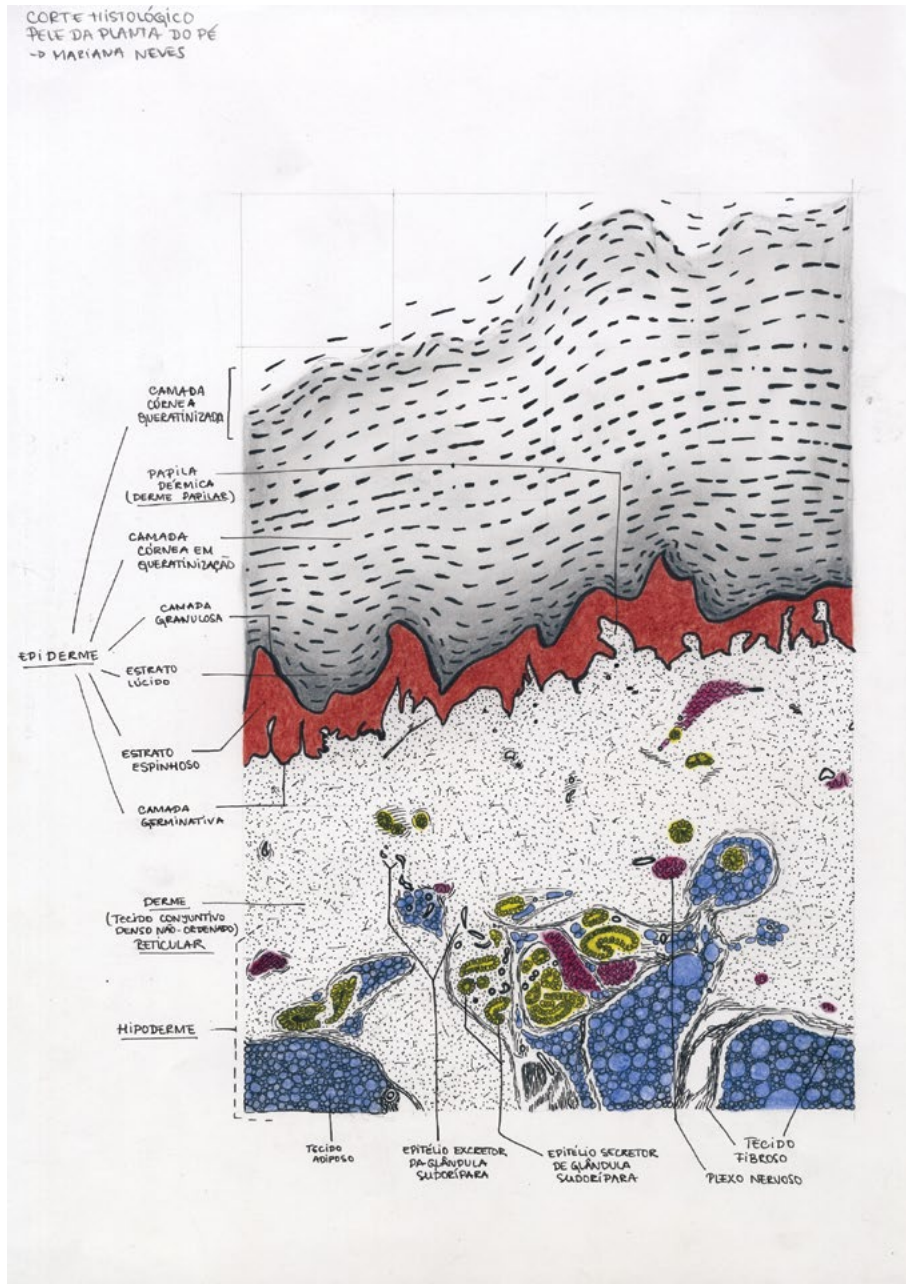
- 14 *Exercício de desenho realizado na Unidade Curricular de Competências Transversais de Desenho e Observação para Médicos. Análise da sintomatologia associada à cirrose hepática / Drawing exercise carried out in the discipline of transversal competencies Drawing and Observation for Physicians. Analysis of symptoms associated with cirrhosis*
Ana Marta Cardoso, 2022

Grafite, lápis de cor e caneta preta sobre papel / Graphite, colour pencils and black marker pen on paper, 29,7 x 42 cm
FBAUP



- 15 *Exercício de desenho realizado na Unidade Curricular de Competências Transversais de Desenho e Observação para Médicos. Representação de uma sutura de ponto interrompido simples / Drawing exercise carried out in the course of transversal competencies Drawing and Observation for Physicians. Representation of a simple interrupted suture*
Margarida Moreira, 2022

Grafite, marcador e caneta sobre papel / Graphite, marker and caneta sobre papel
29,7 x 42 cm
FBAUP



- 16 *Exercício de desenho realizado na Unidade Curricular de Competências Transversais de Desenho e Observação para Médicos. Representação de uma corte histológico da pele da planta do pé / Drawing exercise carried out in the course of transversal competencies Drawing and Observation for Physicians. Representation of a histological section of the sole*

Mariana Neves, 2022

Grafite, lápis de cor e marcador preto sobre papel
/ Graphite, marker and colour pencils on paper, 41,9 x 29,6 cm
FBAUP

Como fazer desporto com desenhos?

Paulo Luís Almeida

Introdução

Como fazer desporto com desenhos? Esta é a pergunta que surge das representações que atuam sobre o corpo desportivo. A afinidade entre ambos – desenho e desporto – faz-se pelo movimento do corpo. David Rosand descreveu o desenho como sendo o traço que resulta da projeção do corpo, e esta experiência é ainda mais evidente quando nos confrontamos com a representação da figura em movimento (2001, p. 16). Podem as propriedades visuais e espaciais do desenho produzir um novo conhecimento do corpo, individual e coletivo, no desporto? Que perceções sobre o jogo se constituem na atividade do desenho que não poderiam ser constituídas de outra forma?

Com a resposta a estas questões, este capítulo pretende contribuir para a compreensão do desenho como competência em situações de treino e análise da performance desportiva. Na última década, têm aumentado os estudos que analisam o impacto do desenho na prática científica (Ainsworth *et al.*, 2011; Quillin & Thomas, 2015; Anderson, 2017; Wu & Rau, 2019; Simmons, 2021). Contudo, e apesar do desenho ser usado regularmente para visualizar a performance e analisar os seus resultados, não encontramos ainda uma síntese que reúna as perspetivas deste impacto nas ciências do desporto.

Tendo por objetivo estabelecer um quadro de referências para a prática do desenho em contexto desportivo, começamos por rever a investigação anterior que relaciona desporto, visualização, notação e desenho. Nos argumentos que a atravessam, identificamos três grandes vias: visualização de dados; as qualidades do movimento; o conhecimento de si. Privilegiamos, em primeiro lugar, artigos das ciências do desporto focados em atividades de desenho. Incluíram-se ainda os

estudos que, tendo por base a investigação em desenho, abordaram a performance desportiva, o jogo e as metodologias de treino. Com frequência, estes estudos cruzam as três culturas nas ciências do desporto: ciências naturais, ciências sociais, arte e humanidades. Este triângulo epistemológico é uma lente necessária para compreender quais os movimentos físicos do corpo que se tornam expressões do campo a que chamamos desporto. A par das perspetivas biomecânicas e notacionais, o desporto é também o campo onde se refletem as ideologias que permeiam a cultura e se materializam como efeitos na representação dos corpos (McMahon *et al.*, 2017). Ao convocar modos de perceção como a visão ou o toque, a proprioceção e a introspeção (Kantrowitz, 2012, p. 4), o desenho é um meio de aceder à consciência que atletas, treinadores e cientistas fazem dos estados do corpo e das suas emoções. Dificilmente estes estados são representados apenas pela linguagem verbal ou dados estatísticos (Theron *et al.*, 2011, p. 19).

O segundo momento debruçou-se sobre as representações que acompanham as publicações nas ciências do desporto, em particular na biomecânica e análise notacional. Pretendemos saber se o desenho, nas diversas categorias, é usado como demonstração e que relações estabelece com o texto e outros meios de representação.

No terceiro momento, relacionamos esta revisão com as atividades de desenho observadas entre 2021 e 2022 no Laboratório de Biomecânica do Porto (LABIOMEPE) e na Faculdade de Desporto da Universidade do Porto (FADEUP), em modalidades desportivas diversas como a natação, a ginástica artística ou o basquetebol. Estas atividades incluem, ainda, a investigação biomecânica em situações de hiperperformance e de hipoperformance. Diferentes formas de mediação estão envolvidas: a digital, a performativa e o desenho à mão. Para ajudar a sintetizar as diferentes atividades, recorreremos ainda ao modelo ICAP adotado por Ainsworth & Scheiter (2021) para distinguir os modos de envolvimento cognitivo através do desenho.

A retórica do desenho no desporto

Investigar o desenho no desporto é encontrar uma atividade feita sob outros nomes, entre os quais notação, modelo visual, visualização, diagrama de corpo livre ou campograma. É também isolar uma prática que participa de outros processos de análise, como a captura de movimento, a análise cinética e cinemática ou a análise tempo-movimento. Antes

de abordar a forma particular como as ciências do desporto criaram os seus próprios modelos de desenho, identificam-se alguns factos básicos.

O primeiro facto é este: desenho é um termo que designa processos e resultados contraditórios. Tem um estatuto híbrido entre a representação visual e o gesto performativo. Não podemos caracterizar o desenho fora deste *continuum*, que oscila entre o conceptual e abstrato e o percetivo e mimético (Petherbridge, 2010, p. 16). De uma forma geral, resulta de um compromisso da mente em lidar com ideias que são melhor explicadas visualmente. E apesar da história da arte o associar, como uma reminiscência, aos meios sobre papel, os princípios que caracterizam os processos cognitivos – seleção, organização e integração de informação – aplicam-se ao desenho independentemente do meio e superfície (Wu & Rae, 2015, p. 5). No que é fundamental, os desenhos são exteriorizações de imagens internas que podem ser analisadas e transformadas de forma análoga à análise e transformação de objetos, incluindo nelas informações adicionais como setas ou palavras (Tversky, 1999, p. 2). E ainda que contenham muitas qualidades percetivas que associamos às imagens, os desenhos não são imagens das coisas. Eles revelam o processo pelo qual interrogamos a estrutura das aparências (Berger, 2005, p. 71). Como argumenta Tversky (1999, p. 2), o desenho revela a conceção das pessoas sobre as coisas, não a percepção que têm das coisas. A latitude do termo permite-nos considerar como desenho em desporto qualquer visualização inscrita numa superfície por treinadores, investigadores ou atletas, incluindo dados quantitativos como gráficos (Ainsworth *et al.*, 2011), sobre qualquer tipo de conteúdo ligado à cultura desportiva. Esse conteúdo inclui objetos, mas também interações e processos.

O outro facto é uma trivialidade: as ciências do desporto ocupam-se dos corpos em movimento, mas também dos corpos transformados em normas sociais e estéticas (Jönsson, 2019, p. 1530). Para o desporto, o corpo é físico, relacional e retórico. O movimento de uma ginasta no praticável pode ser analisado numa perspetiva biomecânica; podemos compreender os conflitos pessoais entre ginastas, treinadores e júris a partir das ciências sociais; as artes e humanidades permitem-nos olhar para o impacto ético e estético do movimento atlético. Na prática, todas as modalidades podem ser analisadas sob quaisquer ângulos. Contudo, diferentes categorias de desporto (Kupfer, 1995) têm diferentes prioridades de representação. Em desportos quantitativos ou lineares, como a natação, o movimento inclui a quantificação do tempo e do espaço como limites naturais; em desportos qualitativos ou for-

mais, como a ginástica, a avaliação é determinada pela expressão do corpo em movimento – não pela distância ou velocidade – e requer por isso uma apreciação fundamentalmente estética; em desportos competitivos, como o basquetebol, o foco está no confronto e interação ofensiva e defensiva entre atletas (Lacerda & Silva, 2001, p. 235).

Por estas razões, os protocolos de representação de uma modalidade dificilmente se transpõem para outras modalidades. Apesar das diferenças, há necessidades comuns. Retomando a polémica – mais estimulante – definição de Bernard Suits (2005, p. 55), o jogo é a “tentativa voluntária de superar obstáculos desnecessários”, e o desporto um jogo que supõe competências físicas, com seguidores e regras com um elevado nível de estabilidade (Borge, 2021).

Desenhar para e a partir do desporto

Nas ciências do desporto e em situações de treino, raramente o desenho é visto como um método de ensino e investigação visual em si mesmo. Esta invisibilidade vem da perceção de que a arte estabelece uma falsa pretensão de objetividade (Gravestock, 2010, p. 198), o que acantona o desenho às crenças sobre a mente imaginativa. E as crenças, sabemos-lo, alimentam-se do desconhecimento coletivo. A par do uso inconsistente de uma terminologia que difere de área para área, estas barreiras são ainda o efeito de uma literatura de desenho dispersa entre a investigação qualitativa do desporto, a análise notacional, a visualização de dados, a biomecânica e a estética do desporto, entre outros fatores que colocam em causa a transferibilidade dos resultados entre estudos científicos (Quillin & Thomas, 2015, p.2).

Com esta revisão, não pretendemos identificar todas as referências em que o desenho e as ciências do desporto se cruzam, mas sintetizar os principais vetores que as atravessam. Estas referências enquadram-se em três grandes categorias: a primeira responde à necessidade de visualizar os dados no contexto da performance; a segunda aborda o movimento a partir das suas qualidades; na terceira categoria, o desenho é usado como instrumento de introspeção sobre os limites do corpo de cada atleta e do contexto social em que ele ou ela atua.

A visualização dos dados desportivos

Apesar dos avanços na tecnologia de captação de movimento, intuitivamente visualizamos os padrões do movimento como rastros desenhados. O desenho proporciona um meio útil para filtrar sequências dinâmicas complexas (Heath, 2014, p. 2), sintetizando-as em inscrições que podem ser deslocadas, reproduzidas, recombinadas, sobrepostas, traduzidas e conetadas com outros objetos no mundo (Latour, 1990). Permite materializar fenómenos que não têm forma concreta, como espaço e duração (Hughes, 2008, p. 98). As linhas, por exemplo, são estruturas visuais simples que incorporam ligações, percursos ou relações. Elas contêm e conetam ideias, como a de fronteira ou tempo, criando uma dimensão ao longo da qual diferentes dados podem ser ordenados; outras estruturas visuais, como círculos ou quadrados, geram qualidades como centro e periferia, simetria e sincronia (Tversky, 2019, p. 148), fundamentais para explicar o movimento no espaço. A abordagem mais comum à visualização é, por isso, o desenho de gráficos a partir de dados estáticos ou recolhidos em tempo real (Drucker, 2020, p. 1).

De facto, qualquer performance desportiva gera uma quantidade massiva de dados, cujo sentido requer a aplicação de formas de representação visual (Basole & Saupe, 2016, p. 24). Estas representações são usadas para a cobertura mediática das competições, fortalecer a adesão do público e complementar a observação no registo preciso dos incidentes de uma performance. Eles fornecem pistas adicionais às quais treinadores e analistas podem aceder no registo das suas próprias observações. Também para atletas, a visualização pode ajudar a corrigir eventuais problemas detetados durante a prova ou em retrospectiva (Beck *et al.*, 2016, p. 53), e há um consenso alargado na literatura de que as análises quantitativas detalhadas podem melhorar o desempenho de atletas se o *feedback* for dado de forma apropriada (Borrie *et al.*, 2002, p. 845). Esta necessidade explica o desenvolvimento de novas técnicas de visualização desenhada, com frequência assistidas por computador. Programas como *SoccerStories*, por exemplo, foram concebidos para analisar jogos de futebol, recombinando e sobrepondo representações visuais das várias fases da partida em desenhos compósitos, porque a análise quantitativa, por si só, é incapaz de captar o contexto dos movimentos de um jogo em que as posições e ações dos jogadores são os aspetos mais relevantes (Perin *et al.*, 2013).

No geral, o desenho no desporto responde a duas necessidades de visualização. A primeira é analítica. Para Perin *et al.* (2018, p.

678), o seu propósito é compreender as forças, fraquezas e padrões do desempenho individual ou de equipa, decompondo-o em coordenadas espaço-visuais. Estes desenhos de visualização organizam os dados discretos de modo a possibilitar a sua integração em modelos cognitivos mais simples, usados para tomar decisões e melhorar o desempenho. Por exemplo, em *Buckets* – uma interface dedicada às estatísticas no basquetebol – o desenho de mapas de arremessos (*shot chart*) transforma as posições de jogadores no momento do arremesso em pontos sobre a planta da quadra, criando um desenho sinóptico do seu desempenho (Beshai, 2014). Esta síntese visual permite comparar desempenhos entre jogadores e encontrar padrões, a partir dos quais novas táticas podem ser formuladas.

O outro uso é narrativo (Perin *et al.*, 2018, p. 678). O desenho apresenta os dados numa forma sinóptica para facilitar a interpretação geral da performance. E sabe-se que os dados armazenados numa sequência temporal são percebidos em algum tipo de ordem espacial, o que permite à mente humana lidar com as imagens independentemente da sua sucessão no tempo, o que facilita a compreensão (Arnheim, 1992, p. 37). Conseguimos, por isso, apreender a singularidade do desempenho de Simone Biles, nas Olimpíadas de 2016, através da combinação do vídeo com o rasto desenhado do movimento, melhor do que o faríamos no vídeo captado ou nos dados estatísticos (Sanz *et al.*, 2016). O desenho da linha mostra que o menor espaço de corrida lhe dá mais tempo de salto acrobático, incluindo assim mais elementos, com maior grau de dificuldade, do que outras atletas.

Diferentes tipos de dados requerem diversas formas de visualização pelo desenho. A notação de dados espaço-temporais em pautas é um dos métodos mais correntes (Borrie *et al.*, 2002; Gudmundsson & Horton, 2017). Estes dados caracterizaram-se por amostras contendo o registo temporal e a posição de um objeto, atleta ou evento, que funcionam como resumos visuais estatísticos do jogo (Perin *et al.*, 2018, p. 667; Legg *et al.*, 2012), tais como o número de remates por partida de um campeonato de futebol. São, regra geral, gráficos simples e de pequena escala, ditados pelas regras de cada desporto e independentes de tecnologia de captação de movimento. A par dos dados espaço-temporais, Perin *et al.* (2018) destacam outros dois tipos sobre os quais a visualização do desporto se constrói: os dados de rastreio (*tracking data*) e os metadados.

Os dados de rastreio surgem da evolução dos sistemas de visão computacional (Stein *et al.*, 2018), mas também da observação direta de

vídeos para detetar eventos e trajetórias (Pingali *et al.*, 2001; Polk *et al.*, 2014; Fletcher, 2012). Estes dados recombina múltiplas dimensões espaço-temporais em tempo real, como o movimento de um jogador em ataque, a velocidade da bola ou a sua trajetória de remate. Para os representar, o desenho incorpora as circunstâncias de quem vê num ponto de vista (Perin *et al.*, 2018, p. 673). Regra geral, a representação de trajetórias adota um ponto de vista indireto, como se visto por uma terceira pessoa ou uma câmara de satélite. Um exemplo são os desenhos das trajetórias da bola dos jogos do Mundial de Futebol de 2006, registadas em diagramas de movimento sobre a planta do campo (Rosenthal, 2006). Embora pareçam aleatórios nas imagens em bruto, estes cam-pogramas revelam padrões geométricos que contribuem para mostrar a assinatura tática de uma equipa. Em outro exemplo, a integração de registos-vídeo de desportos coletivos com a visualização abstrata das trajetórias dos jogadores, gera novos dados a que se acede como um desenho de espaços negativos (Stein *et al.*, 2018): a relação dos espaços de interação com os espaços vazios entre os atletas mostra o potencial de progressão de uma equipa em cada fase do jogo. Ao valorizar o espaço negativo, a visualização assume um dos fundamentos do ver-pe-lo-desenho como modo de conhecimento. Noutro sentido, a mudança do ponto de vista exterior para o ponto de vista na primeira pessoa introduz novas variáveis. O desenho da trajetória da bola na perspetiva do jogador que marca um penalti é substancialmente diferente se visto na perspetiva do guarda-redes (Rusu *et al.*, 2011; Perin *et al.*, 2018, p. 673). Mais do que visualizar as trajetórias como um padrão estável, estes desenhos confrontam-nos com o grau de dificuldade na perspetiva do atleta, que nem sempre coincide com o olhar distanciado da câmara.

Um terceiro tipo são os metadados – informações exteriores à performance desportiva, mas que a situam num contexto específico. Exemplos de metadados são a forma dos recintos, as características físicas de atletas, o perfil de espetadores ou condições climatéricas (Perin *et al.*, 2018, p. 674). De natureza circunstancial, a representação visual destes dados pode ser articulada com dados da performance, possibilitando assim um conhecimento integral dos fatores que influenciam o desempenho de atletas.

Apesar de encontrarmos técnicas de visualização comuns entre diferentes dados, dificilmente as podemos generalizar entre desportos ou mesmo entre fases do mesmo desporto. O que a literatura revista aponta é para a tendência em adaptar técnicas de visualização existentes para responder às necessidades de cada tarefa, ao invés de

procurar modelos genéricos. Uma última questão se levanta: raramente se observam os processos pelos quais a performance desportiva se converte em dados e os dados em imagem (Drucker, 2020, p. 1). Esta modelização interpretativa é, contudo, mais ampla que as decisões gráficas, como a forma ou a cor. Envolve decisões de ênfase e exclusão que determinam o que é relevante ou descartável. Se olharmos para a visualização gráfica fora da falácia referencial que confunde o objeto com a sua representação, percebemos nela não uma mera manifestação de dados, mas um modo primário de conhecimento.

Uma abordagem qualitativa ao movimento

Independentemente da abordagem seguida, os dados espaço-temporais raramente nos informam sobre as qualidades globais do movimento, tais como o grau de dificuldade, a maleabilidade, a experiência estética da força (Lacerda, 2011), a integridade e a coordenação, ou a falta dela nos principiantes (Barlett, 2007, p. 47). Não há uma única abordagem qualitativa ao movimento no desporto, ou qual o papel que o desenho nela desempenha. Nos estudos revistos, o desenho é visto como meio para perceber o *continuum* do movimento, sobretudo quando a videografia condiciona o padrão do comportamento – o efeito de Hawthorne – ou levanta questões éticas e culturais (Barlett, 2007, p. 51). Na análise qualitativa biomecânica, por exemplo, o desenho é um meio pedagógico para visualizar o movimento das articulações do corpo nos planos de deslocamento (idem, p. 40). Noutra sentida, esta abordagem descreve o movimento de forma não numérica, numa perspetiva multidisciplinar, o que favorece o recurso a métodos artísticos (Phoenix, 2010) e noções expandidas das estratégias de observação (Namkung, 2016). De forma sintomática, os estudos revistos tendem a concentrar-se em atividades de desenho nos desportos qualitativos, como a patinagem artística (Gravestock, 2010) ou em circunstâncias em que a avaliação é feita em tempo real. Na ginástica rítmica, por exemplo, a classificação da atleta baseia-se no desempenho de dois parâmetros que ocorrem em simultâneo: a quantidade e a qualidade dos movimentos. A sequência de processos mentais da avaliação deve ser rapidamente convertida em pontos (Díaz-Pereira *et al.*, 2014, p. 66), o que requer o recurso a notações ideográficas, num regime taquigráfico próximo dos protocolos do pensamento (Eaves, 2015, p. 1160). Na ginástica, as notações assumem a forma de glifos: desenhos

simbólicos do movimento nas suas qualidades, tais como a dificuldade, o domínio do aparelho e originalidade, os elementos dinâmicos e a combinação dos passos na coreografia (e.g. F.I.G, 2018; Clematis RG, 2020). Para além de um signo visual, o glifo incorpora uma imagem motora, ligando o tempo da performance ao tempo da observação. Para Gravestock (2010, p. 199), estas limitações de tempo podem permitir a investigadores desportivos uma forma de conhecimento incorporado, mais do que uma compreensão cognitiva, já que o corpo de quem desenha reage com movimento à observação do próprio movimento (Blakemor, Frith, 2005), antes de pensar conscientemente nos seus efeitos e causas. O desenho é, nestes casos, uma mímica, que permite incorporar o movimento observado para o compreender melhor.

Por estas razões, tem sido sugerido que as notações desportivas têm as suas raízes nos sistemas coreográficos da dança como a *Labanotation*, ou em variantes, entretanto desenvolvidas, como a notação de motivos (*Motif Writing*) (O'Donoghue, 2010; Eaves, 2015). Concebidas para registar o movimento humano, estas notações derivam de duas ações cognitivas fundamentais: a decomposição do movimento nos seus principais motivos; a integração destes motivos em formas ou linhas, diminuindo assim o esforço da memória. Mais do que registar os dados espaço-temporais, estes desenhos evidenciam as qualidades motoras e estéticas do movimento, enquanto criam um modelo visual para pensar esse mesmo movimento, o que os aproxima da modelização científica: ao simplificar e abstrair um conceito motor, o desenho permite passar da observação de um objeto externo para uma representação interna, favorecendo a compreensão (Wu, Rau, 2019, p. 99). Nesta modelização, não se transpõem apenas os dados espaço-temporais. Como sugere Gravestock (2010, p. 200), o processo do desenho torna-se um meio para desenvolver competências de investigação desportiva através de uma maior consciência sensorial das qualidades do movimento.

Conhecimento de si e mudança social

Uma terceira via surge com o crescente interesse pelos métodos visuais e artísticos na investigação qualitativa do desporto. A par da abordagem qualitativa ao movimento – visto como um fenómeno externo a quem observa – o desenho é também o meio de aceder à percepção que cada atleta tem dos seus limites, internos e externos. Na literatura revista, esta via tem duas aplicações: o conhecimento de si

ou introspeção, baseada na consciência própria dos estados somáticos e emocionais; a compreensão do contexto de cada atleta, orientada pelo desejo de provocar mudanças sociais, como na iniciativa *Sport for Development and Peace* (Forde, 2022) ou no questionamento de ideologias dominantes como a *Slim to Win*.

Na sua experiência em patinagem artística no gelo, Hannah Gravestock (2010) recorre ao desenho para explorar a consciência de si e dos seus limites como atleta, com o foco na fisicalidade do movimento e na memória das sensações. Relacionando a resposta sensorial no momento da prova com os desenhos feitos durante o treino, foi possível reavaliar as experiências tomadas por garantidas e aquelas que passaram despercebidas. No processo do desenho, identificaram-se os momentos de mudança e os movimentos chave, o que permitiu desenvolver a coreografia com novos movimentos e expressões. O resultado, refere, “foi uma compreensão enriquecida do meu corpo; como se move, o que pode fazer, os limites que impõe à performance (...)” (2010, p. 201). Isto quer dizer que os dados sensoriais podem ser criados no momento do desenho e não apenas na junção narrativa entre os dados da observação e as explicações verbais (Stewart *et al.*, 2020, p. 142). Neste sentido, o desenho expande o processo de observação para lá da primazia do visual, numa dupla perspetiva que relaciona percepção e introspeção. Esta dupla perspetiva é necessária porque, em situações de treino e competição, a percepção do treinador e a consciência que cada atleta tem dos seus movimentos são distintas e em constante interação. A consciência de si refere-se também ao treinador. Numa revisão das notas desenhadas sobre a sua experiência com o treino de uma equipa de ciclismo, J. Morton sublinha que, ao desenhar o mapa das pessoas que circulavam e podiam influenciar cada ciclista, “estava a tomar consciência das principais relações e comportamentos que precisava de desenvolver para apoiar e influenciar o desempenho de cada ciclista” (2014, p. 175). Em outras experiências híbridas de desenho e desporto envolvendo corrida, em que o contacto do corpo com a pista é registado como desenho em tempo real, as marcas resultantes do impacto não se resumem à forma visível do movimento. Providenciam um mecanismo de *biofeedback* que fornece ao atleta informação sensoriomotora como os ângulos de ataque, amplitude e assimetria do movimento, rigor do posicionamento do pé ou sensibilidade da superfície (Namkung, 2016). Em outro estudo, o desenho de mandalas é usado como método culturalmente responsivo para facilitar a investigação sobre a percepção que membros de comunidades marginalizadas

fazem das suas experiências desportivas (Blodgett *et al.*, 2013). Como alternativa a métodos de recolha baseados na linguagem, o desenho enfatiza outros modos de conhecimento além dos puramente lógicos ou dedutivos. Regra geral, estes desenhos coexistem com diferentes formas de investigação participativa em situações ligadas à percepção que cada estudante faz da educação desportiva (MacPhall & Kinchin, 2004; Sparkes & Smith, 2014, p. 98). Numa perspetiva metodológica, o desenho é um meio para expressar de forma significativa a experiência do próprio corpo e as pressões a que está sujeito. Num estudo sobre a ideologia ‘*Slim to Win*’ na natação, McMahon *et al.* (2017) adaptaram o inquérito a/r/tográfico à aprendizagem desportiva. A intenção era saber se, e em que medida, processos artísticos como o desenho podem apoiar a compreensão das práticas corporais prejudiciais que se normalizaram na cultura da natação, e quais os efeitos a longo prazo nas atletas. As representações resultantes permitiram a cada participante interpretar a forma como se vê a si própria e como é potencialmente vista pelos outros. Mais do que se ajustarem ao mundo, estas representações transportam o desejo da transformação capaz de gerar narrativas de mudança. A necessidade de metodologias que levem investigadores a envolverem-se nas histórias e contextos sociais do desporto, está ainda na base do trabalho realizado por Shawn Forde (2022). Recorrendo ao desenho e banda desenhada como método etnográfico, Forde analisa as histórias locais ligadas a um clube de futebol, interligando as suas observações com a percepção da comunidade sobre o desporto. A forma como estas histórias são desenhadas pode moldar a compreensão do desporto, do desenvolvimento e da mudança social que ele comporta.

Mais do que uma fotografia ou um gráfico, o desenho enfatiza a agência de cada atleta na construção das representações de si própria. Mostra-nos que os modos de ver e interpretar a representação são determinados pelo seu contexto de produção e receção.

O desporto publicado

Dos contextos de receção do desenho nas ciências do desporto – a interação durante o treino, a avaliação da prova ou a publicação – este último requer uma atenção particular. É nele que a formulação dos conceitos com que apreendemos o desporto se legitima. Donna Haraway recorda-nos que a ciência é um texto contestável e um campo

de poder, em que o conteúdo é também a forma (1988, p. 577), inseparável, por isso, dos modelos de apresentação do discurso. Deste ponto de vista, a necessidade do desenho na publicação científica reflete diferentes estratégias retóricas: o desenho como evidência, o desenho como construção da realidade e o desenho como texto, aberto à interpretação (Phoenix, 2010, p. 95). Mas legitima-se, sobretudo, pelas suas características enquanto inscrição, e que Bruno Latour sintetizou em nove vantagens (1990, p. 44). Uma das mais importantes, refere, é a capacidade das inscrições se integrarem em textos já escritos e em novos textos em processo. Ao partilharem a mesma consistência óptica, o texto não é apenas ilustrado pela inscrição. Transporta tudo o que há a ver naquilo sobre o qual escreve (p. 46).

De modo a compreender o grau de interação entre desenho e texto nas ciências do desporto, foram analisadas duas revistas de referência presentes na biblioteca da FADEUP: *Sports Biomechanics* (Vol. 19) e o *International Journal of Performance Analysis in Sport* (Vol. 20). Ambas as áreas analisam o desempenho desportivo, embora com focos diferentes: a biomecânica dedica-se ao desempenho individual numa perspectiva mecânica e anatómica; a análise da performance foca-se nos padrões que informam a tática e a estratégia coletiva. Consideraram-se todos os números publicados em 2020, num total de 58 artigos de biomecânica e 67 artigos de análise da performance, cobrindo várias modalidades desportivas e situações de treino. O objetivo era reconhecer a proporção entre fotografias, gráficos e desenhos usados, o problema que pretendem resolver e as categorias de desenho envolvidas. O termo desenho exige, aqui, uma clarificação prévia: neste reconhecimento, ele distingue-se dos gráficos padronizados de visualização quantitativa de dados, tais como gráficos de dispersão, linhas ou barras, que são a maioria das representações visuais usadas (cerca de 60% nas duas publicações). Na identificação das categorias de desenho, baseamo-nos na terminologia proposta por Massironi (2002) para distinguir entre diagramas, pictogramas, mapas e axonometrias, desenhos de sequência e desenhos de ilustração. A estes, acrescentamos os desenhos compostos sempre que a representação recorria a duas ou mais categorias em simultâneo, ou combinava fotografias e gráficos com desenhos.

Nas várias categorias, os desenhos representam cerca de 30% das representações em ambas as revistas, o triplo das fotografias usadas (cerca de 10%) (imagem 1). Nos desenhos ilustrativos, pictogramas e desenhos de sequência, a opção justifica-se sempre que é necessário proteger o anonimato dos participantes ou quando o assunto não

se refere a um indivíduo concreto, mas a um tipo ou género. Por seu turno, o recurso a mapas e axonometrias tende a ser usado sempre que é necessário descrever interações condicionadas pelos limites de um espaço. Os desenhos compósitos são a grande maioria dos desenhos usados em publicações (cerca de 40% de todos os desenhos). Em alguns casos, os diagramas são incluídos como suplementos sobrepostos às fotografias; outros articulam gráficos e ilustrações; outros ainda sequências de movimentos e mapas. Estes desenhos tendem a ser usados quando o conteúdo não pode ser sintetizado numa única categoria, o que requer uma combinação capaz de apreender diferentes intenções e ângulos ao mesmo tempo.

Este levantamento mostra que um terço das representações são desenhos, e que estes desenhos se adaptam a uma variedade de contextos para representar interações, sequenciar ações, explicar causas e demonstrar efeitos do impacto do movimento sobre o corpo desportivo. A sua capacidade de veicular conhecimento não é uma matéria de forma, mas da relação retórica com o referente (Drucker, 2020, p. 13): o conhecimento pode anteceder o desenho ou ser criado por ele.

O desporto desenhado

Se entrarmos hoje num laboratório de biomecânica ou nos espaços de treino de uma Faculdade de Desporto, encontramos desenhos de todos os tipos a circular entre investigadores, treinadoras e atletas. Ecrãs móveis e de computadores conectados a bases de dados, onde o movimento é processado em simulações gráficas coloridas, coexistem com velhas estratégias de representação na ciência: quadros brancos com diagramas desenhados a marcador, esquemas à mão levantada sobre papéis improvisados, ilustrações em manuais ou fotocópias desenhadas com esquemas de competição.

Alguns destes desenhos são representações, outros são modelos. Enquanto as representações reconfiguram o conhecimento adquirido numa forma gráfica, os modelos são usados para gerar novas percepções e conhecimentos (Drucker, 2020, p. 46). Uma representação é, neste aspeto, um substituto móvel de uma informação anterior. Ela incorpora um modelo, dando-lhe uma aparência gráfica dentro de um esquema ou padrão de pensamento.

Um caso particular são os esquemas de treino da ginástica artística feminina (imagem 2). Estes esquemas são inventários de movimen-

tos, preenchidos por glifos metafóricos (Legg *et al.*, 2012), usados para a preparação física de atletas. A folha é organizada de modo a relacionar os movimentos numa ordem específica. Um objeto complexo como o movimento do corpo, para ser rapidamente apreendido numa instrução, precisa de ser resumido a um pictograma. Estes pictogramas têm o seu modelo no Código de Pontos da modalidade (F.I.G., 2018) e são definidos pela presença conjunta de vários atributos – género, orientação do corpo no espaço, postura, contacto com o aparelho, direção do movimento. A sua eficácia retórica é determinada pela interação entre treinadora e estudante. Ao contrário das representações que se ajustam ao mundo, estes pictogramas pretendem que o mundo se ajuste à representação: o seu propósito é levar alguém a fazer algo nas condições estabelecidas pelo treino, que o desenho incorpora como um esquema narrativo.

Estes pictogramas partilham com outro tipo de glifos uma característica fundamental: usam métodos diretos de atividade gráfica para provocar um processo interpretativo. É o caso dos glifos usados para representar ações específicas dentro de um esquema de competição (imagem 3). Estas representações incorporam um repertório de gestos deliberados e aprendidos, partilhados por uma comunidade de praticantes, através dos quais o movimento se torna inteligível. A notação acompanha o exercício à medida que é executado, numa escrita síncrona (imagem 4 e 5). Concluída a competição, o desenho tem a função de um espelho retrovisor, com o qual é possível rever a performance. Nestes casos, o glifo é um gesto que medeia a relação entre perceção e reflexão: um gesto pensante. Não por acaso, esta notação é referida como escrita. O movimento é segmentado em unidades motoras, numa dupla articulação, que permite avaliar a quantidade e a qualidade de cada motivo. Em situações de treino, por seu turno, a notação é usada para definir o esquema de competição a ser realizado por cada ginasta. (imagem 6). No primeiro caso, os glifos são desenhos retrospectivos: através da notação, um sistema complexo de decisões pode ser elaborado e sistematizado. No segundo caso, o glifo é um desenho projetivo: prepara o corpo para o movimento.

Esta dupla função – retrospectiva e projetiva – ocorre ainda, informalmente, em notas desenhadas para mediar o treino. Com frequência, estas notas assumem as características de um diagrama de movimento para comunicar estratégias, descrever variantes posicionais e a evolução do movimento dos jogadores (imagem 7 e 8). O diagrama-movimento é um dispositivo de representação com o qual a mente procura revelar uma organização latente. Mas é, sobretudo, um dispositivo performativo que preparar o corpo para a atividade desportiva, ligando a intenção do movimen-

to com o tempo e o espaço da performance. Paul Virilio descreveu-o como o lugar em que a geografia se encontra com a coreografia (1994, p. 36).

Podemos entender estes desenhos num outro ângulo, se nos focarmos não na aparência gráfica dos resultados, mas no envolvimento cognitivo que promovem. O modelo proposto por Chi & Wylie (2014) e adaptado por Ainsworth & Scheiter (2021), permite-nos distinguir estes graus de envolvimento: interativo, construtivo, ativo e passivo (ICAP). Na realidade, não há um modo passivo de desenhar. A simples reprodução de uma ilustração exige já um posicionamento perante o conteúdo. O envolvimento ativo ocorre naturalmente sempre que qualquer participante leva a cabo, de forma explícita, uma atividade de desenho, seja para comentar (*feedback*), questionar ou reproduzir. Nestes casos, o desenho pode potenciar o processo de observação porque requer uma atenção acrescida para reproduzir aquilo que observa, reforça o processamento perceptivo e torna as relações mais explícitas. O desenho serve ainda um propósito mnemónico, porque recordamos com mais intensidade palavras e imagens se as tivermos desenhado, ainda que de forma sintética (Ainsworth & Scheiter, 2021, p. 63). Mas o desenho não é apenas a exteriorização visual do que temos em mente. Transforma-o.

Este modo de envolvimento construtivo ocorre sempre que há a conversão de um texto em desenho. Ainsworth & Scheiter identificam-no ainda na improvisação de novas formas de representação visual. Contudo, é nas formas de envolvimento interativo que os desenhos do desporto melhor se definem. A interação no treino ou na performance reflete-se na necessidade de interação ao nível das representações, mesmo quando o desenho é feito por uma única pessoa. Frequentemente, por isso, convergem no desenho pontos de vista diferentes a partir dos quais um entendimento comum pode ser alcançado. Este envolvimento é mais evidente na metodologia de treino, mas também ocorre na abordagem aos conceitos biomecânicos. A representação visual de fenómenos complexos é uma tentativa de validar argumentos perante estudantes ou colegas. É também um meio de reforçar a compreensão de quem argumenta, sempre que o ato do desenho se articula com o discurso. (Ainsworth & Scheiter, 2021, p. 64).

A representação das determinantes mecânicas do equilíbrio humano em meio aquático (imagem 10 e 11) constitui um exemplo desta interação e do posicionamento construtivo que a atividade do desenho possibilita. Estes diagramas de corpo livre recuperam pensamentos e um estudo anterior (Vilas-Boas, 1984) sobre as relações entre o centro de gravidade e o centro de impulsão no equilíbrio de uma pessoa na

água. Feitos durante a interação com estudantes numa aula, os desenhos introduzem conceitos da arquitetura naval como o metacentro, para depois os desenvolverem visualmente no ser humano. Ao relacionarem duas situações análogas, mas com graus de complexidade distintos, os desenhos conectam um novo conteúdo concreto com conhecimentos mais abstratos.

Num outro desenho compósito, Soltani e Vila-Boas (2017) mostram o padrão de uma braçada num jogo de natação virtual (*exergame*), comparando nadadores com formação com jogadores experientes no jogo virtual, mas sem treino desportivo (imagem 12). As linhas indicam as coordenadas registadas por um sistema de captura de movimento, concebido para jogos de simulação desportiva. Os diagramas mostram as diferenças fundamentais entre o bom desempenho no jogo e o movimento dos maus jogadores virtuais, que eram sobretudo nadadores treinados. A representação mostra que o jogo virtual não encoraja a nadar corretamente e que os melhores movimentos em ambiente virtual não significam melhor desempenho em competição real. Esta evidência não resulta do exercício atento de ver, nem antecede a imagem. É o resultado de um “desenhar como” (Vertesi, 2014) que transforma o objeto natural num objeto analítico.

Paulo Cunha e Silva sugeriu que o corpo motor é um corpo cartografante. Os lugares por onde passa organizam-se como um mapa (1995, p. 29) (imagem 16). Muitos outros aspetos práticos das ciências do desporto podiam ser organizados se olhássemos para a forma como o desenho transforma o corpo e os seus movimentos em inscrições. No seu conjunto, os desenhos no desporto não são reproduções passivas do movimento. São o movimento do pensamento para compreender e transformar o corpo que se move. Ao convocar a experiência motora no exercício da observação, o desenho ativa uma atenção sensível às características singulares do movimento de cada atleta. Como se cada movimento fosse uma assinatura.

RECONHECIMENTO

Um agradecimento profundo ao Professor João Paulo Vilas Boas, Diretor do LABIOMEP; à Professora Filipa Sousa, do Gabinete de Biomecânica do Desporto da FADEUP; à Professora e treinadora Cristina Corte Real, do Gabinete de Ginástica da FADEUP; e à Professora Teresa Lacerda, do Gabinete de Es-tética do Desporto, pela partilha das suas ideias e conhecimento.

How to do sports with drawings?

Paulo Luís Almeida

Introduction

How to do sports with drawings? This is the question that arises from the representations that act upon the athletic body. The affinity between drawing and sport stems from the movement of the body. David Rosand described the gesture of drawing as the trace left by the projection of the body, and this experience is even more clear when we view the drawing of a moving figure (2001, p. 16). Can the visual and spatial properties of drawing produce new knowledge of the individual and collective body in sports? What insights about the game are shaped within the drawing activity that could not be shaped otherwise?

With the answer to these questions, this chapter intends to contribute to understanding drawing as a skill in situations of training and performance analysis in sports. In the last decade, an increasing amount of studies have analysed the impact of drawing in scientific practice (Ainsworth *et al.*, 2011; Quillin & Thomas, 2015; Anderson, 2017; Wu & Rau, 2019; Simmons, 2021). However, even though drawing is used regularly to visualise the performance and analyse its results, we have not yet found a synthesis that brings together the perspectives of this impact in sports science.

With the aim of establishing a framework for drawing practice in a sports context, we start reviewing previous research relating sports, visualisation, notation and drawing. In the arguments underlying it, we identify three main paths: data visualisation, the qualities of movement, self-knowledge. We first reviewed articles from the sports sciences focused on drawing activities. We also included studies that, although based on drawing research, addressed sports performance from the perspective of the game and training methodologies. Often, these studies

intertwine the three cultures within sports sciences: natural sciences, social sciences, arts and humanities. This epistemological triangle is a necessary lens to understand which and how the physical movements of the body become expressions of what we call sport. Alongside the biomechanical and notational perspectives, sport is also the field where the ideologies that permeate our culture are expressed and embedded as effects in the representation of the bodies (McMahon *et al.*, 2017). By summoning modes of perception such as vision or touch, proprioception and introspection (Kantrowitz, 2012, p. 4), drawing is a way of accessing athletes, coaches and scientists' awareness of bodily states and emotions. These states are hardly represented by verbal language or statistical data alone (Theron *et al.*, 2011, p. 19).

The second moment addresses the representations accompanying publications in sports sciences, particularly in biomechanics and notational analysis. We wanted to know whether drawing, in its various categories, is used as a demonstration and what relationships it establishes with both text and other means of representation.

In the third moment, we relate this review to the drawing activities observed between 2021 and 2022 at the Porto Biomechanics Laboratory (LABIOMEPE) and the Faculty of Sport of the University of Porto (FADEUP), in different modalities such as swimming, artistic gymnastics or basketball. These activities also include biomechanical research in hyper and hypo-performance situations. Different forms of mediation are involved: the digital, the performative and drawing by hand. To help synthesise these different activities, we applied the ICAP framework adopted by Ainsworth & Scheiter (2021) to distinguish the modes of cognitive engagement through drawing.

The rhetoric of drawing in sport

Researching drawing in sports involves finding an activity carried out under different names like notation, visual model, visualisation, free-body diagram or pitchgram. It is also about highlighting a practice that participates in other data analysis processes like motion capture, kinetic and Kinematic analysis or time-motion analysis. Before discussing how sports sciences created their own drawing models, some basic facts are addressed.

The first fact is that drawing is a term that designates contradictory processes and results. It has a hybrid status between a visual rep-

resentation and a performative gesture. We cannot understand drawing outside this *continuum*, which oscillates between the conceptual and the abstract, the perceptive and the mimetic (Petherbridge, 2010, p. 16). In general, it results from a commitment of the mind to deal with ideas that are better explained visually. And despite art history associates it with media on paper, as a reminiscence, the principles underlying cognitive processes – selecting, organising and integrating information – apply to drawing regardless of medium and surface (Wu & Rae, 2015, p. 5). At a fundamental level, drawings are exteriorisations of internal images that can be analysed and transformed similarly to how we analyse and transform objects, as they can include additional information like arrows or words (Tversky, 1999, p. 2). And even if they contain many perceptive qualities we associate with images, drawings are not images of things. They reveal the process by which we interrogate the structure of appearances (Berger, 2005, p. 71). As Tversky argues (1999, p. 2), drawing reveals people's conception of things, not their perceptions of things. The scope of the word allows us to consider as drawing in sports any visualisation inscribed on a surface by coaches, researchers or athletes, including quantitative data like graphs (Ainsworth et al., 2011), on any type of content connected to the sports culture. That content includes objects but also interactions and processes.

The other fact is trivia: sports sciences deal with bodies in motion, but also bodies transformed into social and aesthetic norms (Jönsson, 2019: 1530). For sports, the body is physical, relational and rhetorical. The movement of a gymnast in the floor area can be analysed from a biomechanical perspective; we can understand the personal conflicts between gymnasts, coaches, and judges from the social sciences; the arts and humanities allow us to look at the ethical and aesthetic impact of athletic movement. In practice, every sport can be analysed from any angle. However, different sports categories (Kupfer, 1995) have different priorities in their representation. In quantitative or linear sports, such as swimming, the movement includes the quantification of time and space as natural limits; in qualitative or formal sports, like gymnastics, assessment is determined by the expression of the moving body – not by distance or speed – and requires, therefore, a fundamentally aesthetic appreciation; in competitive sports, like basketball, the focus is on confrontation and offensive and defensive interaction among athletes (Lacerda & Silva, 2001, pp. 235).

For these reasons, the representation protocols of a sport's modality are hardly transposed to other disciplines. Despite the differenc-

es, there are common needs. Resuming Bernard Suits' controversial – but stimulating – definition (2005, p. 55), a game is the “voluntary attempt to overcome unnecessary obstacles”, and sport is a game that involves physical skills, with a wide following and a wide level of stability (Borge, 2021).

Drawing from and for sport

In sports sciences and training situations, drawing is rarely seen as a teaching and visual research method in itself. This invisibility stems from the perception that art lays a false claim to objectivity (Gravestock, 2010, p. 198), which limits drawing to the beliefs regarding the imaginative mind. And beliefs, as is known, feed on collective ignorance. Alongside the inconsistent use of terminology that differs from area to area, these barriers are also the effect of a drawing literature scattered between qualitative sports research, notational analysis, data visualisation, biomechanics and sport aesthetics, among other factors that call into question the transferability of results between scientific studies (Quillin & Thomas, 2015, p.2).

With this review, we do not intend to identify all the references in which drawing and sports sciences intertwine but to synthesise the main vectors that cross them. These references fall into three major categories: the first reflects the need to visualise the data in the context of performance; the second addresses movement through its qualities; in the third category, drawing is used as an instrument of introspection on the limits of each athlete's body and of the context in which he or she performs.

The visualisation of sports data

Despite the advances in motion capture technology, we intuitively visualise movement patterns as drawn traces. Drawing provides a useful medium to filter complex dynamic sequences (Heath, 2014, p. 2), synthesising them in inscriptions that can be moved, reproduced, recombined, overlapped, translated, and connected to other objects in the world (Latour, 1990). It allows materialising phenomena that do not have a concrete shape, such as space and duration (Hughes, 2008, p. 98). Lines, for example, are simple visual structures that embody con-

nections, routes or relationships. They contain and connect ideas like frontier or time, creating a dimension along which different data can be ordered; other visual structures, such as circles or squares, generate qualities like centre and periphery, symmetry and synchrony (Tversky, 2019, p. 148), fundamental to explain movement in space. The most common approach to visualisation is, therefore, the drawing of graphics from static data or data collected in real-time (Drucker, 2020, p. 1).

In fact, any sports performance generates a massive amount of data, whose meaning requires the application of visual representation forms (Basole & Saupe, 2016, p. 24). These representations are used in media coverage of competitions to strengthen public support and complement observation in accurately recording performance incidents. They provide additional clues that coaches and analysts can access in recording their own observations. Also, for athletes, visualisation can help correct any problems identified during the competition or retrospectively (Beck *et al.*, 2016, p. 53), and there is a broad consensus in the literature that detailed quantitative analyses can improve athletes' performance if feedback is provided appropriately (Borrie *et al.*, 2002, p. 845). This need explains the development of new techniques of drawn visualisation, often assisted by computer. Programmes like *SoccerStories*, for example, were conceived to analyse football games, recombining and overlapping visual representations of a match's several stages in composite drawings because quantitative analysis, by itself, is incapable of capturing the context of the movements within a game in which player positions and actions are the most relevant aspects (Perin *et al.*, 2013).

In general, drawing in sports responds to two visualisation needs. The first is analytical. For Perin *et al.* (2018, p. 678), its purpose is to understand an individual's or team's forces, weaknesses and performance patterns, decomposing them in spatial-visual coordinates. These visualisation drawings organise the discrete data to make possible their integration into simpler cognitive models used to make decisions and improve performance. For example, in *Buckets* – an interface dedicated to statistics in basketball – the drawing of shot charts transforms the players' positions in the moment of shooting in dots over the court layout, creating a synoptic drawing of their performance (Beshai, 2014). This visual synthesis allows the comparison of performances between players and the recognition of patterns from which new tactics can be envisioned.

The other use is narrative (Perin *et al.*, 2018, 678). Drawing presents the data in the form of a synoptic image to facilitate the overall interpretation of the performance. And it is known that data stored in

a temporal sequence are perceived in some kind of spatial order, allowing the human mind to confront and compare images independently of their succession in time, thus facilitating understanding (Arnheim, 1992, p. 37). We were able, therefore, to grasp the singularity of Simone Biles' performance at the 2016 Olympics through the combination of the video and the drawn line of the motion's trail, better than we would in a motion capture video or statistical data (Sanz *et al.*, 2016). The drawing of the line shows that the smaller running space gives her more acrobatic jump time, thus including more elements, with a higher degree of difficulty, than other athletes.

Different types of data require diverse ways of visualisation through drawing. The notation of spatial-temporal data in scores is one of the most common methods (Borrie *et al.*, 2002; Gudmundsson & Horton, 2017). These data are characterised by samples containing the temporal record and position of an object, athlete or event, acting as statistical visual summaries of the game (Perin *et al.*, 2018, p. 667; Legg *et al.*, 2012), such as the number of shots per match in a football championship. These are generally simple, small-scale box scores defined by the rules of each sport and independent of motion-capture technology. Alongside spatial-temporal data, Perin *et al.* (2018) highlight two other types on which sports visualisation is built: tracking data and metadata.

Tracking data arise from the evolution of computer vision systems (Stein *et al.*, 2018) and direct observation of videos to detect events and trajectories (Pingali *et al.*, 2001; Polk *et al.*, 2014; Fletcher, 2012). This data recombines multiple spatial-temporal dimensions in real-time, such as the attacking movement of a player, the speed of the ball or its shooting trajectory. To represent them, drawing embodies the circumstances of the viewer as a point of view (Perin *et al.*, 2018, p. 673). In general, the representation of trajectories adopts an indirect point of view, as if seen by a third person or a satellite camera. An example is the drawings of the ball trajectories of the 2006 World Cup matches, recorded in movement diagrams over the pitch layout (Rosenthal, 2006). Although they appear random in the raw images, these pitchgrams reveal geometric patterns that help to show a team's tactical signature. In another example, the integration of video recordings of team sports with the abstract visualisation of player trajectories generates new data that is accessed as a drawing of negative spaces (Stein *et al.*, 2018): the relationship between interaction spaces and empty spaces between athletes shows the potential for a team's progression in each phase of the game. In valuing negative space, visualisation assumes one

of the fundamentals of seeing-through-drawing as a mode of knowing. In a different approach, changing from the external perspective to the first-person point of view introduces new variables. Drawing the trajectory of the ball from the perspective of the player scoring a penalty is substantially different if viewed from the goalkeeper's perspective (Rusu *et al.*, 2011; Perin *et al.*, 2018, p. 673). More than visualising the trajectories as a stable pattern, these drawings confront us with the degree of difficulty in the athletes' perspective, which does not always coincide with the distanced gaze of the camera.

A third type is the metadata – information external to the sports performance that places it in a specific context. Examples of metadata are the shape of the stadiums, the physical characteristics of athletes, the profile of spectators or the weather conditions (Perin *et al.*, 2018, p. 674). Of circumstantial nature, the visual representation of these data can be articulated with the performance data, thus enabling an integral knowledge of the factors that influence athlete performance.

Although we find common visualisation techniques between different data, we can hardly generalise them between sports or phases of the same sport. The reviewed literature points to a tendency to adapt existing visualisation techniques to meet the needs of each task rather than looking for generic models. A final issue arises: the processes by which sports performance is converted into data and data into images are rarely observed (Drucker, 2020, p. 1). This interpretive modelling is, however, broader than graphic decisions such as shape or colour. It involves emphatic and exclusionary decisions that determine what is relevant or disposable. If we look at graphic visualisation outside the referential fallacy that confuses the object with its representation, we perceive it not as a mere manifestation of data but as a primary mode of knowledge.

A qualitative approach to movement

Regardless of the approach taken, spatial-temporal data rarely inform us about the overall qualities of movement, such as the degree of difficulty, suppleness, aesthetic experience of force (Lacerda, 2011), integrity and coordination, or lack of it in beginners (Barlett, 2007, p. 47). There is no single qualitative approach to movement in sports or what role drawing plays in it. In the studies reviewed, drawing is seen as a means to understand the continuum of movement, especially when videography

alters the pattern of behaviour – the Hawthorne effect – or raises ethical and cultural issues (Barlett, 2007, p. 51). In qualitative biomechanical analysis, for example, drawing is a pedagogical means to visualise the movement of the body's joints in planes of displacement (idem, p. 40). At another level, this approach describes movement in a non-numerical way through a multidisciplinary perspective, favouring the use of artistic methods (Phoenix, 2010) and expanded notions of observation strategies (Namkung, 2016). Symptomatically, the studies reviewed tend to focus on drawing activities in qualitative sports such as figure skating (Gravestock, 2010) or in circumstances where assessment is made in real-time. In rhythmic gymnastics, for example, the athlete's classification is based on the performance of two parameters that occur simultaneously: the quantity and the quality of the movements. The judgement process involves a series of sequential mental processes that must be quickly converted into points (Díaz-Pereira *et al.*, 2014, p. 66), thus requiring the use of ideographic notations in a shorthand regime in tandem with thinking protocols (Eaves, 2015, p. 1160). In gymnastics, notations take the form of glyphs: symbolic drawings of the movement in its qualities, such as difficulty, mastery of the apparatus and originality, the dynamic elements and the combination of the steps in the choreography (e. g. FIG, 2018; Clematis RG, 2020). In addition to being a visual sign, the glyph embodies a motor image, linking the time of performance to the time of observation. For Gravestock (2010, p. 199), these time limitations may allow sports researchers a form of embodied knowledge rather than cognitive understanding, as the body of the draughtsperson reacts with movement to the observation of the movement itself (Blakemor & Frith, 2005), before consciously thinking about its effects and causes. In these cases, drawing is a mime that allows the observed movement to be embodied to understand it better.

For these reasons, it has been suggested that sports notations have their roots in the choreographic systems of dance, like the *Labanotation*, or in variants developed meanwhile, like MotifWriting (O'Donoghue, 2010; Eaves, 2015). Conceived to record the human movement, these notations derive from two fundamental cognitive actions: the decomposition of movement in its main motifs; the integration of these motifs into forms or lines, thus reducing the effort of memory. More than recording the spatial-temporal data, these drawings highlight the motor and aesthetic qualities of the movement whilst creating a visual model to think of that same movement, which draws them closer to scientific modelling: by simplifying and abstracting a motor concept,

drawing makes it possible to move from the observation of an external object to an internal representation, favouring understanding (Wu, Rau, 2019, p. 99). In this modelling, it is not only spatial-temporal data that are transposed. As Gravestock suggests (2010, p. 200), the process of drawing becomes a means to develop sports research skills through greater sensory awareness of the qualities of movement.

Self-knowledge and social change

A third path arises with the growing interest in visual and artistic methods in qualitative sports research. Alongside the qualitative approach to movement – seen as a phenomenon external to the observer – drawing is also the means of accessing the perception that athletes have of their limits, internal and external. In the reviewed literature, this path has two applications: self-knowledge or introspection, based on self-awareness of bodily and emotional states; the analysis of an athlete's context, driven by the desire to provoke social changes, as in the *Sport for Development and Peace* initiative (Forde, 2022) or to question dominant ideologies such as '*Slim to Win*'.

In her experience in figure ice skating, Hannah Gravestock (2010) uses drawing to explore the awareness of herself and her limits as an athlete, focusing on the physicality of the movement and the memory of sensations. By relating her sensory response during the performance with the drawings made during training, it was possible to reassess the experiences taken for granted and those that went unnoticed. In the drawing process, the moments of change and key movements were identified, which allowed the choreography to be developed with new movements and expressions. The result, she refers, “was an enriched understanding of the body; how it moves, what it can do, the limits it imposes on the performance (...)” (2010, p. 201). This means that sensory data can be created in the moment of drawing and not only in the narrative juncture between observation data and verbal explanations (Stewart *et al.*, 2020, p. 142). In this sense, drawing expands the observation process beyond the primacy of the visual, in a double perspective that relates perception and introspection.

This double perspective is necessary because, in training and competition situations, the perception of the coach and the awareness that athletes have of their movements are distinct and in constant interaction. Self-awareness also refers to the coach. In a reflective review

of the notes drawn about his experience with coaching a cycling team, J. Morton underlines that by drawing the map of the people who circulated and could influence each cyclist, “I was becoming readily aware of the key relationships and behaviours that I needed to develop to support and impact each raider’s performance” (2014, p. 175). In other hybrid experiences of drawing and sport involving running, in which the contact of the body with the track is recorded as drawing in real-time, the marks resulting from impact are not merely the visible form of movement. They provide a *biofeedback* mechanism that gives the athlete sensorimotor information such as angles of attack, range and asymmetry of movement, accuracy of foot placement or sensitivity to surface (Namkung, 2016).

In another study, mandala drawings were used as a culturally responsive method to facilitate research into the perception that members of marginalised communities make of their sports experiences (Blodgett *et al.*, 2013). As an alternative to language-based methods, drawing emphasises modes of knowing other than purely logical or deductive ones. Generally, these drawings coexist with different forms of participatory research in situations connected to student’s perception of their sport education (MacPhall & Kinchin, 2004; Sparkes & Smith, 2014, p. 98). From a methodological point of view, drawing is a means of expressing in a meaningful way the experience of one’s own body and the pressures to which it is subject. In a study on the ‘*Slim to Win*’ ideology in swimming, McMahon *et al.* (2017) adapted the a/r/tographic inquiry to sport research. The intention was to know if, and to what extent, artistic processes such as drawing can support the understanding of harmful body practices that have become normalised in swimming culture and what are the long-term effects on the athletes. The resulting representations allowed participants to interpret how they see themselves and how they are potentially seen by others. More than adjusting to the world, these representations convey the desire for transformation capable of generating narratives of change. The need for methodologies that lead researchers to become involved in the histories and social contexts of sport is also at the base of the work carried out by Shawn Forde (2022). Using drawing and comics as an ethnographic method, Forde analysed local stories related to a football club, interconnecting his observations with the community’s perception of sport. The way these stories are drawn can shape the understanding of sport, its development and the social change it entails.

More than a photograph or a chart, these drawings emphasise the agency of athletes in constructing their self-representations. They

show us that the ways of seeing and interpreting are determined by their context of production and reception.

The published sport

Among the delivery contexts surrounding drawing in sports sciences – training interaction, performance evaluation or publication – the latter requires particular attention. It is through publication that the shaping of the concepts with which we apprehend sport is legitimised. Donna Haraway reminds us that science is a contestable text and a field of power, in which the content is also the form (1988, p. 577), inseparable, therefore, from the models through which discourse is presented. From this point of view, the need for drawing in scientific publication reflects different rhetorical strategies: drawing as evidence, drawing as construction of reality, and drawing as text, open to interpretation (Phoenix, 2010, p. 95). Drawing is mainly legitimised by its inscription features, which Bruno Latour summarised in nine advantages (1990, p. 44). One of the most important, he argues, is their capacity to be a part of a written text already published or a new text in draft. By sharing the same optical consistency, the inscription does not simply illustrate the text. It carries all there is to see in what it writes about (p. 46).

To understand the degree of interaction between drawing and text in sports sciences, two reference journals, available at FADEUP's library, were analysed: *Sports Biomechanics* (Vol. 19) and the *International Journal of Performance Analysis in Sport* (Vol. 20). Both areas analyse sports performance, although with different focuses: biomechanics is dedicated to individual performance from a mechanical and anatomical perspective; performance analysis focuses on the patterns that inform collective tactics and strategy. All issues published in 2020 were considered in a total of 58 articles in biomechanics and 67 articles in performance analysis, covering various sports and training situations. The objective was to survey the proportion between photographs, charts and drawings, the problem they intend to solve, and the categories of drawing involved. The term drawing requires some preliminary remarks: in this survey, we distinguish it from standardised quantitative data visualisation graphs, such as scatter plots, lines or bar charts, which are the main visual representations used (about 60% in both publications). In identifying the drawing categories, we based ourselves on the terminology proposed by Massironi (2002) to distinguish between di-

agrams, pictograms, maps and axonometries, sequence drawings and illustration drawings. To these categories, we added composite drawings whenever the representation used two or more categories simultaneously or combined photographs and charts with drawings.

In the various categories, drawings represent around 30% of the representations in both journals, three times more than the photographs used (around 10%) (image 1). In illustrative drawings, pictograms and sequence drawings, the option is justified whenever it is necessary to protect the anonymity of the participants or when the subject does not refer to a specific individual but to a type or gender. In turn, maps and axonometries tend to be used whenever necessary to describe interactions within the boundaries of a space. Composite drawings are the most used category in publications (about 40% of all drawings). In some cases, diagrams are included as supplements to photographs; others merge charts and illustrations; others still, motion sequences and maps. These drawings tend to be used when the content cannot be synthesised in a single category, which requires a combination capable of simultaneously grasping different intentions and angles.

This survey shows that one-third of representations are drawings, and these drawings adapt themselves to various contexts to represent interactions, sequence actions, explain causes and demonstrate the effects of the impact of movement on the athletic body. Its ability to convey knowledge is not a matter of form but of the rhetorical relationship with the referent (Drucker, 2020, p. 13): knowledge can precede the drawing or be created by it.

The drawn sport

If we enter today in a biomechanics laboratory or the training spaces of a Faculty of Sport, we find all types of drawings circulating among researchers, coaches and athletes. Mobile and computer screens connected to databases, where movement is processed in colourful graphic simulations, coexist with old scientific representation strategies: whiteboards with diagrams drawn with markers, hand-drawn diagrams on found papers, illustrations in manuals or photocopies drawn with competition schemes.

Some of these drawings are representations; others are models. While representations reconfigure acquired knowledge in a graphical form, models are used to generate new insights and knowledge (Druck-

er, 2020, p. 46). In this sense, a representation is a mobile surrogate of previous information. It embodies a model, giving it a graphical appearance within a scheme or thought pattern.

A particular case is the training schemes of women's artistic gymnastics (image 2). These schemas are inventories of movements, completed with metaphoric glyphs (Legg *et al.*, 2012), used for the athletes' physical preparation. The sheet is organised to relate the movements in a specific order. To be quickly grasped in an instruction, a complex object, such as body movement, needs to be condensed in a pictogram. These pictograms have their graphical model in the Artistic Gymnastics Code of Points (FIG, 2018). They are defined by the combined presence of several attributes – genre, body orientation in space, posture, contact with the apparatus, direction of movement. Their rhetorical efficiency is determined by the interaction between the coach and the student. Unlike representations that fit the world, these pictograms intend the world to fit the representation: their purpose is to get someone to do something under the conditions set by the training, that drawing incorporates as a narrative scheme.

These pictograms share a fundamental characteristic with other glyphs: they use direct methods of graphic activity to trigger an interpretative process. This is the case of the glyphs used to represent specific actions within a competition scheme (image 3). These representations embody a repertoire of deliberate and learned gestures shared by a community of practitioners through which movement becomes intelligible. The notation accompanies the exercise as it is executed in synchronous writing (images 4 and 5). When the competition is over, the drawing works as a rear-view mirror through which it is possible to review the performance. In these cases, the glyph is a gesture that mediates the relationship between perception and reasoning: a thinking gesture. Not by chance, this notation is referred to as writing. The movement is segmented into motor units, in a double articulation, which allows assessing the quantity and quality of each motif. In training situations, the notation is also used to define the competition scheme to be performed by gymnasts (image 6). In the first case, the glyphs are retrospective drawings: through notation, a complex system of decisions can be elaborated and systematised. In the second case, the glyph is a projective drawing: it prepares the body for movement.

This double purpose – retrospective and projective – also occurs in informal notes drawn to mediate the training. Often, these notes assume the characteristics of a diagram of movement to communicate

strategies and describe positional variants and the evolution of the player's movements (images 7 and 8). The diagram of movement is a representation device with which the mind seeks to reveal a latent organisation. But, mainly, it is a performative device that prepares the body for sports activity, connecting the intention of the movement with the time and the space of the performance. Paul Virilio has described it as a place where geography meets choreography (1994, p. 36).

We can understand these drawings from another angle if we focus not on the graphic appearance of the results, but on the cognitive engagement they promote. The model proposed by Chi & Wylie (2014) and adapted by Ainsworth & Scheiter (2021) allows us to distinguish these degrees of engagement: interactive, constructive, active and passive (ICAP). There is no passive way of drawing. The simple reproduction of an illustration already requires a positioning towards the content. Active engagement occurs naturally whenever any participant explicitly carries out a drawing activity to comment (*feedback*), question or reproduce. In these cases, drawing can enhance the observation process because it requires more attention to reproduce what is observed, reinforces perceptual processing and makes relationships more explicit. Drawing also serves a mnemonic purpose because we remember words and images more intensely if we have drawn them, even if synthetically (Ainsworth & Scheiter, 2021, p. 63). But drawing is not only the visual externalisation of our mind. It transforms it.

This mode of constructive engagement occurs whenever a text is converted into a drawing. Ainsworth & Scheiter further identify it in the improvisation of new forms of visual representation. However, it is in the form of interactive engagement that the drawings of sport are best defined. Interaction in training or performance is reflected in the need for interaction at the level of representations, even when a single person does the drawing. Therefore, different points of view often converge in the drawing from which a common understanding can be reached. This engagement is most evident in training methodology but also occurs in the approach to biomechanical concepts. The visual representation of complex phenomena is an attempt to validate arguments before students or peers. It is also a means to reinforce the understanding of the one arguing whenever the act of drawing is coordinated with a verbal explanation. (Ainsworth & Scheiter, 2021, p. 64).

The representation of the mechanical determinants of human balance in aquatic environment (images 10 and 11) is an example of this interaction and of the constructive grounding made possible by the ac-

tivity of drawing. These free-body diagrams recover thoughts and an earlier study (Vilas-Boas, 1984) on the relations between the centre of gravity and the centre of impulsion of a person's balance in the water. Made during the interaction with students in a class, the drawings introduce naval architecture concepts, such as the metacentre, and then visually develop them in the human body. By relating two analogous situations but with different degrees of complexity, the drawings connect new concrete content with more abstract knowledge.

In another composite drawing, Soltani and Vila-Boas (2017) show the pattern of a stroke in a virtual swimming game (*exergame*), comparing trained swimmers with experienced players in the virtual game but without sports training (image 12). The lines indicate the coordinates recorded by a motion capture system designed for sports simulation games. The diagrams show the fundamental differences between the good performance in the game and the movement of the bad virtual players, who were mainly trained swimmers. The representation shows that the virtual game does not encourage correct swimming and that better movements in a virtual environment do not mean better performance in real competition. This evidence does not result from the attentive exercise of observation, nor does it precede the image. It is the result of a "drawing as" (Vertesi, 2014) that transforms the natural object into an analytical object.

Paulo Cunha e Silva suggested that the motor body is a cartographic body. The places through which it passes are organised like a map (1995, p. 29) (image 16). Many other practical aspects of sports sciences could be organised by looking at how drawing transforms the body and its movements into inscriptions. Altogether, drawings in sports are not passive reproductions of movement. They are the movement of thought to understand and transform the moving body. By intertwining motor experience in the exercise of observation, drawing triggers a sensitive attention to the singular features of an athlete's movement as if each movement were a signature.

ACKNOWLEDGMENT


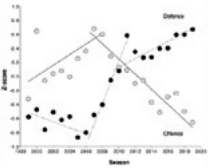

My sincere thanks to Professor João Paulo Vilas Boas, Director of LABIOMEPE; Professor Filipa Sousa, from the Sports Biomechanics Office of FADEUP; Professor and coach Cristina Corte Real, from the Gymnastics Office of FADEUP; and Professor Teresa Lacerda, from the Aesthetics of Sport Office, for sharing their ideas and knowledge.

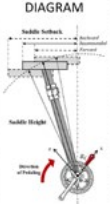

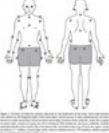
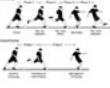

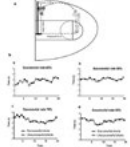
References

- Ainsworth, S. & Scheiter, K. (2021). Learning by Drawing Visual Representations: Potential, Purposes, and Practical Implications. *Current Directions in Psychological Science*. 30(1), pp. 61-67.
- Ainsworth, S.; Prain, V. & Tytler, R. (2011). Drawing to learn in science. *Science* 333, 1096-1097.
- Anderson, G. (2017). *Drawing as a Way of Knowing in Art and Science*. Bristol: Intellect.
- Arnheim, R. (1992). Space as an Image of Time. In *To the Rescue of Art – Twenty Six Essays*. Berkeley: University of California Press, pp. 35-44.
- Bartlett. R. (2007). *Introduction to Sports Biomechanics: Analysing Human Movement Patterns*. New York: Routledge.
- Basole, R.C. & Sapue D. (2016). Sports Data Visualization [Guest editors' introduction]. *IEEE Computer Graphics and Applications*. 36(5), pp. 24-26.
- Beck, F., Burch & M., Weiskopft, D. (2016). A Matrix-Based Visual Comparison of Time Series Sports Data. In Hullin, M.; Stamminger, M. & Weinkauff, T. (Eds). *International Symposium on Vision, Modeling, and Visualization*. Eurographics Association, pp. 53-60.
- Berger, J. (2005). *Berger on Drawing*. Edited by Jim Savage. Aghabullogue: Occasional Press.
- Beshai, P. (2014). Buckets: Basketball Shot Visualisation. Vancouver: University of British Columbia. Accessible at: <https://www.cs.ubc.ca/~tmm/courses/547-14/projects/peter/report.pdf>
- Blakemor, S. & Frith, C. (2005). The role of motor contagion in the prediction of action. *Neuropsychologia*. 43, pp. 260-267.
- Blodgett, A.; Coholic, D.; Schinke, R.; McGannon, K.; Peltier, D. & Pheasant, C. (2013) Moving beyond words: exploring the use of an arts-based method in Aboriginal community sport research. *Qualitative Research in Sport, Exercise and Health*. 5(3), pp. 312-331.
- Borge, S. (2021). What is Sport?. *Sport, Ethics and Philosophy*, 15(3), pp. 308-330.
- Borrie, A.; Johnsson, G. & Magnusson, M.S. (2002). Temporal pattern analysis and its applicability in sport: an explanation and exemplar data. *Journal of Sports Sciences*, 2002, 20, pp. 845-852.
- Chi, M. & Wylie, R. (2014). The ICAP framework: Linking cognitive engagement to active learning outcomes. *Educational Psychologist* 49(4), pp. 219-242.
- Clematis RG (2020, January 17). *How Rhythmic Gymnastics is judged? Halkina - Ball Qualification World Championships 2019*. [Video]. YouTube. <https://youtu.be/OicP6vXBeeC>
- Díaz-Pereira, M.; Conde, I.; Escalona, M. & Olivieri, D. (2014). Automatic recognition and scoring of olympic rhythmic gymnastics movements. *Human Movement Science*. 34, pp. 63-80
- Drucker, J. (2020). *Visualization and Interpretation – Humanistic Approaches to Display*. Cambridge: MIT Press.
- Eaves, S. (2015) A history of sports notational analysis: a journey into the nineteenth century. *International Journal of Performance Analysis in Sport*. 15(3), pp. 1160-1176.
- FIG Executive Committee (2018). *2017-2020 Code of Points - Rhythmic Gymnastics*. Update Version. Lausanne: FIG – Fédération Internationale de Gymnastique.
- Fletcher, B. (2012). Drawing and The Beautiful Game: Transcending Sport. *Tracey. (Drawing Knowledge)*. May 2012, pp. 1-8. Accessible at: <https://www.lboro.ac.uk/microsites/sota/tracey/journal/edu/2012/fletcher.html>
- Forde, S. D. (2022) Drawing your way into ethnographic research: comics and drawing as arts-based methodology. *Qualitative Research in Sport, Exercise and Health*. 14(4), pp. 648-667.
- Gravestock, H.M. (2010). Embodying Understanding: drawing as research in sport and exercise. *Qualitative Research in Sport and Exercise*. 2(2), pp. 196-208.
- Gudmundsson, J. & Horton, M. (2017). Spatio-Temporal Analysis of Team Sports. *ACM Computing Surveys*. 50(2), article 22.

- Haraway, D. (1988). Situated Knowledges: The Science Question in Feminism and the Privilege of Partial Perspective. *Feminist Studies*. 14 (3), p. 575–599.
- Heath, C. (2014). *Drawing out interaction: Lines around shared space* [Doctoral Thesis]. School of Electronic Engineering and Computer Science: Queen Mary University of London.
- Hughes, M. (2008). How do we design simple systems? How to develop a notation system. In Hughes, M. & Franks, I. (Eds). *The Essentials of Performance Analysis - An Introduction*. New York: Routledge, pp. 98-110.
- Jönsson, K. (2019). Situated Knowledge, sports and the sport science question. *Sport in Society*. 22(9), pp. 1528-1537.
- Kantrowitz, A. (2012). The Man behind the Curtain: What Cognitive Science Reveals about Drawing. *The Journal of Aesthetic Education*. Vol. 46(1), pp. 1-14.
- Kupfer, J. (1995). Sport – The Body Electric. In Morgan, W. & Meier, K. (Eds). *Philosophic Inquiry in Sport*. Champaign, IL: Human Kinetics, pp. 390-406.
- Lacerda, T.O. & Silva, P.C. (1998). The Aesthetic Registration – Another Possibility to Figure Movement Analysis. In Hughes, M & Tavares, F. (Eds). *Movement Analysis of Sports IV*. Porto: Centre for Team Sports Studies, FCDEF, pp. 235-237.
- Lacerda, T.O. (2011) From Ode to Sport To Contemporary Aesthetic Categories of Sport: Strength Considered as an Aesthetic Category. *Sport, Ethics and Philosophy*. 5(4), pp. 447-456.
- Latour, B. (1990). Drawing Things Together. In Lynch, M. & Woolgar, S. (Eds.). *Representation in Scientific Practice*. Cambridge and London: The MIT Press, pp. 19-68.
- Legg, P.; Chung, D.; Parry, M.; Jones, M. Long, R.; Griffith, I. & Chen, M. (2012). MatchPad: Interactive Glyph-Based Visualization for Real-Time Sports Performance Analysis. *Computer Graphics Forum* 31(3), pp. 1255-1264.
- Macphall, A. & Kinchin, G. (2004). The use of drawings as an evaluative tool: student's experiences of Sport Education. *Physical Education and Sport Pedagogy*. 9(1), pp. 87-108.
- Massironi, M. (2002). *The Psychology of Graphic Images – Seeing, Drawing, Communicating*. New Jersey: Lawrence Erlbaum Associates.
- McMahon, J.; MacDonald, A. & Owton, H. (2017) A/r/tographic inquiry in sport and exercise research: a pilot study examining methodology versatility, feasibility and participatory opportunities. *Qualitative Research in Sport, Exercise and Health*. 9(4), pp. 403-417.
- Morton, J. (2023). Winning on the Road - Critical Reflections from Life in the Fast Lane!. In Cropley, B. & Knowles, Z. (Eds). *Reflective Practice in the Sport and Exercise Sciences - Critical Perspectives, Pedagogy, and Applied Case Studies*. New York: Routledge. pp. 171-187.
- Namkung, M. (2016). Drawing for Sport. *Drawing: Research, Theory and Practice*. 1(2), pp. 211-221.
- O'Donoghue, P. (2010). *Research Methods for Sports Performance Analysis*. London and New York: Routledge.
- Perin C.; Vuillemot, R. & Fekete, J. (2013). SoccerStories: A Kick-off for Visual Soccer Analysis. *IEEE Transactions on Visualisation and Computer Graphics*. 19(12), pp. 2506-2515.
- Perin, C.; Vuillemot, R. & Stolper, C., Stasko, J. & Wood, J., & Carpendale, S. (2018). State of the Art of Sports Data Visualization. *Computer Graphics Forum*. 37(3), pp. 663–686.
- Phoenix, C. (2010). Seeing the World of Physical Culture: The Potential of Visual Methods for Qualitative Research in Sport and Exercise. *Qualitative Research in Sport and Exercise* 2(2), pp. 93-108.
- Pingali, G.; Opalach, A.; Jean, Y. & Carlbom, I. (2001). Visualization of Sports using Motion Trajectories: Providing Insights into Performance, Style, and Strategy. *IEEE Visualization 2001 Proceedings*. San Diego: IEEE Computer Society, pp. 75-82.
- Polk, T.; Yang, J. & Zao, Y. (2014). Tennis-Vis: Visualization for Tennis Match Analysis. *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics* 20(12), pp. 2339-2348.

- Quillin, L. & Thomas, S. (2015). Drawing-to-Learn – A Framework for Using Drawings to Promote Model-Based Reasoning in Biology. *CBE–Life Sciences Education*. 14(1), pp. 1-16.
- Rosand, D. (2002). *Drawing Acts – Studies in Graphic Expression and Representation*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Rosenthal, S. (2006). *Football Worldcup 2006 in Germany, Project 5760 Minutes*. Accessible at: <http://www.susken-rosenthal.de/fussballbilder/WM2006%20A4%20komplett.kl.pdf>
- Rusu, A.; Stoica, D & Burns, E. (2011). Analyzing Soccer Goalkeeper Performance Using a Metaphor-Based Visualization. In *Proceedings of the 15th International Conference on Information Visualisation*. NW Washington: IEEE Computer Society, pp. 194-199.
- Sanz, R.B. *et al* (2016, Aug. 5). What Makes Simone Biles the World's Best Gymnast. *The New York Times*. Accessible at: <https://www.nytimes.com/interactive/2016/08/05/sports/olympics-gymnast-simone-biles.html>
- Silva, P. C. (1995). *O lugar do corpo - elementos para uma cartografia fractal*. Tese de Doutoramento em Ciência do Desporto. Universidade do Porto: Faculdade de Ciências do Desporto e de Educação Física.
- Simmons III, Seymour (2021). *The Value of Drawing Instruction in the Visual Arts and Across Curricula – Historical and Philosophical Arguments for Drawing in the Digital Age*. New Yor: Routledge.
- Soltani, P. & Vilas-Boas, J.P. (2017). Sport Exergames for Physical Education. in Khosrow-Pour, M. (ed.). *Encyclopedia of Information Science and Technology* (4th ed.). Hershey PA: IGI Global, pp. 7358-7367
- Sparkes, A. & Smith, B. (2014). *Qualitative Research Methods in Sport, Exercise and Health - From Process to Product*. New York: Routledge.
- Stein, M.; Janetzko, H.; Lamprecht, A.; Breitmeyer, T.; Zimmermann, P.; Goldlücke, B.; Schreck, T.; Andrienko, G.; Grossniklaus, M. & Keim, D. (2018). Bring it to the Pitch: Combining Video and Movement Data to Enhance Team Sport Analysis. *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics* 24(1), pp. 13-22.
- Stewart, C.; Woodward, M. & Gough, Rochelle (2020). I've drawn, like, someone who was the world: drawing as embodied gestures of live yoga experience. *Qualitative Research in Sport, Exercise and Health* 12(1), pp. 141-157.
- Suits, B.H. (2005). *The grasshopper – Games, life and Utopia*. Toronto: Toronto University Press.
- Theron, L.; Mitchell, C.; Smith, A. & Stuart, J. (Eds.) (2011). *Picturing Research – Drawing as Visual Methodology*. Rotterdam: Sense Publishers.
- Tversky, B. (1999) What does drawing reveal about thinking? In Gero, J.S. & Tversky, B. (Eds.). *Visual and Spatial Reasoning in Design*. Sydney: Key Centre for Design Computing and Cognition, pp. 93-101.
- Tversky, B. (2019). *Mind in Motion - How Action Shapes Thought*. New York: Basic Books.
- Vertesi, J. (2014). Drawing as: Distinctions and Disambiguation in Digital Images of Mars. In Coopmans, C.; Vertesi, J.; Lynch, M. & Woolgar, S. (Eds). *Representation in Scientific Practice Revisited*. Cambridge: MIT Press, pp. 15-34.
- Vilas Boas, J. P. (1984). *Determinantes mecânicas do equilíbrio humano no meio aquático*. Cadernos de Divulgação. Universidade do Porto: A. E. Instituto Superior de Educação Física.
- Virilio, P. (1994). Gravitational Space: Interview with Laurence Louppe, Daniel Dobbels. In Louppe, L. (ed.). *Traces of Dance – Drawings and Notations of Choreographers*. Paris: Editions Dis Voir, pp. 35-59.
- Wu, S. & Rau, M. (2019). How Students Learn Content in Science, Technology, Engineering, and Mathematics (STEM) Through Drawing Activities. *Educational Psychology Review*. 31(1), pp. 87–120.

VISUAL MEANS OF REPRESENTATION	PHOTOGRAPHS	GRAPHS	DRAWINGS
<p>JOURNAL</p> <p><i>Sports Biomechanics</i> 2020, Vol. 19, 58 articles</p> <p><i>International Journal of Performance Analysis in Sport</i> 2020, Vol. 20, 67 articles</p>	 <p>26</p>	 <p>107</p>	 <p>70</p>
	9	93	48
	10%	57%	33%

CATEGORIES OF DRAWING	DIAGRAM	MAP/AXONOMETRY	PICTOGRAM	SEQUENCE	ILLUSTRATION	COMPOSITE
<p>JOURNAL</p> <p><i>Sports Biomechanics</i></p> <p><i>Performance Analysis</i></p>	 <p>12</p>	 <p>7</p>	 <p>2</p>	 <p>10</p>	 <p>8</p>	 <p>31</p>
	10	14	3	1	5	15
	19%	18%	4%	9%	11%	39%

- 1 *Sports Biomechanics (vol. 19) & International Journal of Performance Analysis in Sports (vol. 20)*
Levantamento do uso de imagens e desenhos / Image and drawing-use survey



GINÁSTICA ARTÍSTICA FEMININA

Competição - 1ª Divisão

Outubro 2012

MUSCULAÇÃO 3





<ul style="list-style-type: none"> • Abd espaldar a tocar 2x (5) - Gds • Abd espaldar (10x) – Pqs 	
<ul style="list-style-type: none"> • Lombares no chão tronco solto de braços estendidos (20+10") 	
<ul style="list-style-type: none"> • Abd esp lado/lado/meio+aguentar em cima lado/lado (15+10) 	
<ul style="list-style-type: none"> • Lombares chão tronco solto dobra ms/estica ms/dobra ms/ pausa (10+6") 	
<ul style="list-style-type: none"> • Churrasco 2 a 2 no espaldar (3x aguentar 5") 	
<ul style="list-style-type: none"> • Lombares tronco solto a dois tempos (15+10") 	
<ul style="list-style-type: none"> • Flexões em pino no espaldar (15+10") 	
<ul style="list-style-type: none"> • Em decúbito dorsal, velas no espaldar até 45° (3x10") 	
<ul style="list-style-type: none"> • Pistolas no espaldar (10+10) 	
<ul style="list-style-type: none"> • Pucks no chão (lado/lado/meio) (30) 	
<ul style="list-style-type: none"> • Saltitares a pés juntos com braços estendidos em cima (40) 	

- 2 *Esquema de treino, Musculação 3, Ginástica Artística Feminina / Training schemes, Weight Training 3, Women's Artistic Gymnastics*
 Cristina Corte Real, 2012
 Esferográfica sobre papel impresso
 / Ballpoint pen on printed paper, 29,7 x 21 cm
 FADEUP

Esquemas de Competição

2021

Sénior

 Esq. 1	- Yourchenko Empranchado ₄₀ - Tsukahara Encarpado ₃₇ <i>knue 4.60</i>	NOTA D - NOTA D -												
 * pensar no tempo	<i>pa. u. n. m. pa. EA. j. u. u. u. u.</i> <i>AA B (B) (E) XX (D) AX (C) (B) (B)</i> <i>li. D uee W</i> <i>+2 +1 D</i> <i>retrair o U antes ou depois da U!</i> <i>Uc+1</i>	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Exig.</th> <th>Elem.</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1- ✓</td> <td>A-</td> </tr> <tr> <td>2- ✓</td> <td>B-1111 0,8</td> </tr> <tr> <td>3- ✓</td> <td>C-11 0,6</td> </tr> <tr> <td>4- ✓</td> <td>D-1 0,4</td> </tr> <tr> <td></td> <td>E-1 0,5</td> </tr> </tbody> </table> NOTA D - 4,30	Exig.	Elem.	1- ✓	A-	2- ✓	B-1111 0,8	3- ✓	C-11 0,6	4- ✓	D-1 0,4		E-1 0,5
Exig.	Elem.													
1- ✓	A-													
2- ✓	B-1111 0,8													
3- ✓	C-11 0,6													
4- ✓	D-1 0,4													
	E-1 0,5													
	<i>↑ nuy o xf w z l uee</i> <i>(C) (B) (E) (A) (D) (C) (C) (B) (B)</i> <i>uee nuy x uee uee</i> <i>+1 +1 e e</i> <i>uee uee uee</i> <i>uee uee uee</i>	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Exig.</th> <th>Elem.</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1- ✓</td> <td>A-1 0,1</td> </tr> <tr> <td>2- ✓</td> <td>B-11 0,4</td> </tr> <tr> <td>3- ✓</td> <td>C-1111 1,2</td> </tr> <tr> <td>4- ✓</td> <td>D-1 0,4</td> </tr> <tr> <td></td> <td>E-</td> </tr> </tbody> </table> NOTA D - 4,20	Exig.	Elem.	1- ✓	A-1 0,1	2- ✓	B-11 0,4	3- ✓	C-1111 1,2	4- ✓	D-1 0,4		E-
Exig.	Elem.													
1- ✓	A-1 0,1													
2- ✓	B-11 0,4													
3- ✓	C-1111 1,2													
4- ✓	D-1 0,4													
	E-													
 fazer u e y o	<i>knuee z y u knuee j. j.</i> <i>(D) (B) (E) (D) (C) (C)</i> <i>uee uee uee uee uee uee</i> <i>E D uee uee uee uee</i> <i>uee uee uee uee uee uee</i> <i>uee uee uee uee uee uee</i>	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Exig.</th> <th>Elem.</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1- ✓</td> <td>A- 1</td> </tr> <tr> <td>2- ✓</td> <td>B-11 0,4</td> </tr> <tr> <td>3- ✓</td> <td>C-3 0,9</td> </tr> <tr> <td>4- ✓</td> <td>D-3 1,2</td> </tr> <tr> <td></td> <td>E-</td> </tr> </tbody> </table> NOTA D - 4,50	Exig.	Elem.	1- ✓	A- 1	2- ✓	B-11 0,4	3- ✓	C-3 0,9	4- ✓	D-3 1,2		E-
Exig.	Elem.													
1- ✓	A- 1													
2- ✓	B-11 0,4													
3- ✓	C-3 0,9													
4- ✓	D-3 1,2													
	E-													

3

Esquema de competição (Senior), R.F., Ginástica Artística Feminina
 / Competition scheme (Senior), R.F., Women's Artistic Gymnastics
 Cristina Corte Real, 2021

Esferográfica sobre papel impresso
 / Ballpoint pen on printed paper, 29,7 x 21 cm
 FADEUP



- 4 *Trave / Bean*
R.F., 2022
Notação, Ginástica Artística Feminina / Notation, Women's Artistic Gymnastics
Cristina Corte Real, 2022
Vídeo H.264/MPEG-4. Filmagem / footage by Maria Catarina Silva
Ginásio / Gymnasium FADEUP

Esquemas de Competição

2022

I	<p>Exw</p> <p>Exwex Lnw</p>	NOTA D - 3,5 NOTA D -													
II	<p> </p> <p>Ex M. M. M. M.</p>	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Exig.</th> <th>Elem.</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1- ✓ 4</td> <td>A - 4 0,4</td> </tr> <tr> <td>2- x</td> <td>B - 2 0,4</td> </tr> <tr> <td>3- x</td> <td>C - 2 0,6</td> </tr> <tr> <td>4- x 0,5</td> <td>D -</td> </tr> <tr> <td></td> <td>E -</td> </tr> </tbody> </table>	Exig.	Elem.	1- ✓ 4	A - 4 0,4	2- x	B - 2 0,4	3- x	C - 2 0,6	4- x 0,5	D -		E -	
Exig.	Elem.														
1- ✓ 4	A - 4 0,4														
2- x	B - 2 0,4														
3- x	C - 2 0,6														
4- x 0,5	D -														
	E -														
		NOTA D - 1,4 + 0,5 (1,9)													
III	<p> </p> <p> </p> <p> </p> <p> </p>	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Exig.</th> <th>Elem.</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1- ✓</td> <td>A - 1 0,1</td> </tr> <tr> <td>2- ✓</td> <td>B - 2 0,4</td> </tr> <tr> <td>3- ✓ 3,0</td> <td>C - 3 0,9</td> </tr> <tr> <td>4- ✓ 8 2,0</td> <td>D - 2 0,8</td> </tr> <tr> <td></td> <td>E - 2,2</td> </tr> </tbody> </table>	Exig.	Elem.	1- ✓	A - 1 0,1	2- ✓	B - 2 0,4	3- ✓ 3,0	C - 3 0,9	4- ✓ 8 2,0	D - 2 0,8		E - 2,2	
Exig.	Elem.														
1- ✓	A - 1 0,1														
2- ✓	B - 2 0,4														
3- ✓ 3,0	C - 3 0,9														
4- ✓ 8 2,0	D - 2 0,8														
	E - 2,2														
		NOTA D - 2,0 + 2,2 (4,2)													
IV	<p> </p> <p> </p>	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Exig.</th> <th>Elem.</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1- ✓</td> <td>A -</td> </tr> <tr> <td>2- ✓</td> <td>B - 5 1,0</td> </tr> <tr> <td>3- ✓</td> <td>C - 3 0,9</td> </tr> <tr> <td>4- x (1,5)</td> <td>D -</td> </tr> <tr> <td></td> <td>E -</td> </tr> </tbody> </table>	Exig.	Elem.	1- ✓	A -	2- ✓	B - 5 1,0	3- ✓	C - 3 0,9	4- x (1,5)	D -		E -	
Exig.	Elem.														
1- ✓	A -														
2- ✓	B - 5 1,0														
3- ✓	C - 3 0,9														
4- x (1,5)	D -														
	E -														
		NOTA D - 1,5 + 1,9 (3,4)													

5

Esquema de competição, C.M., Ginástica Artística Feminina

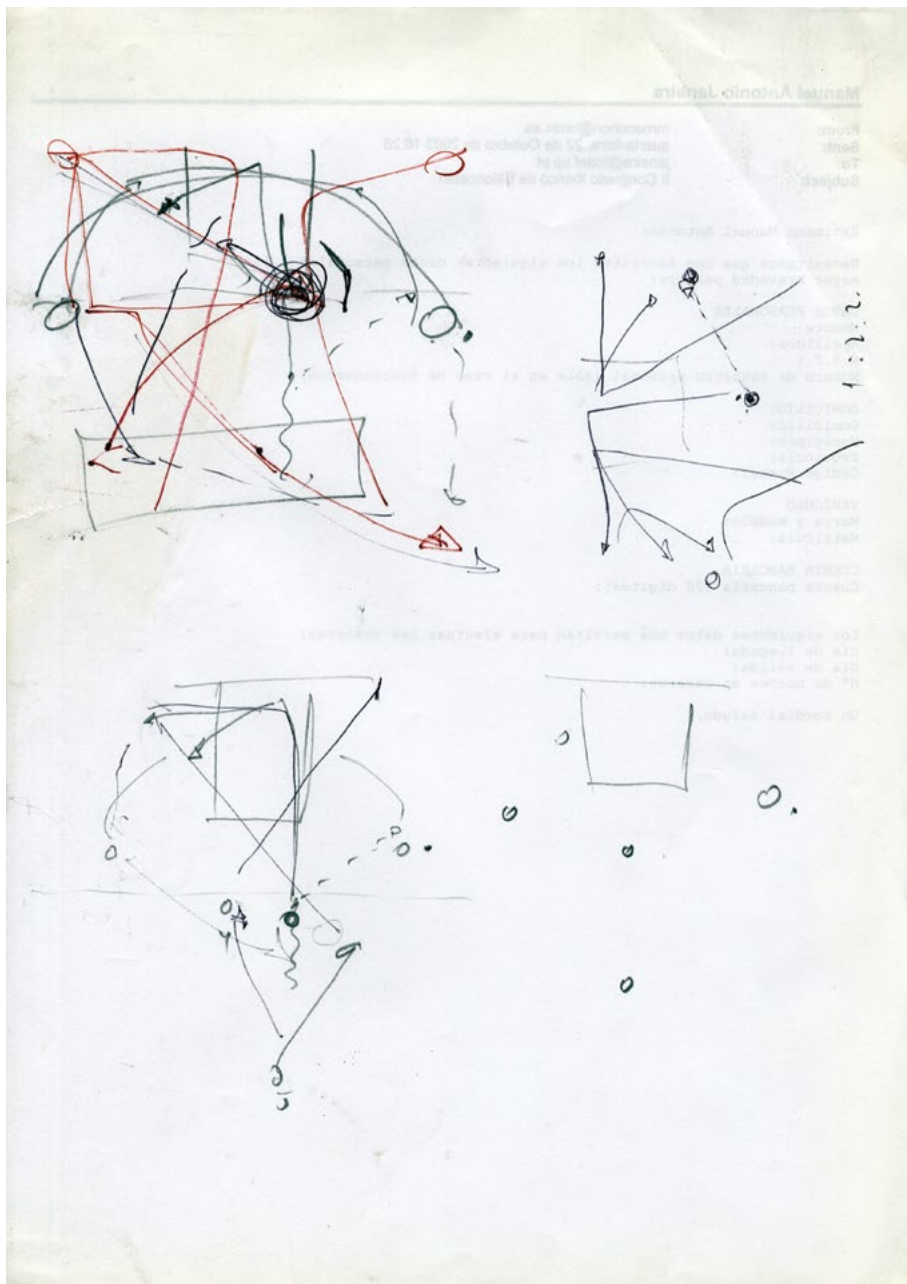
/ Competition scheme, C.M., Women's Artistic Gymnastics

Cristina Corte Real, 2022

Esferográfica e lápis em papel impresso

/ Ballpoint pen and pencil on printed paper, 29,7 x 21 cm

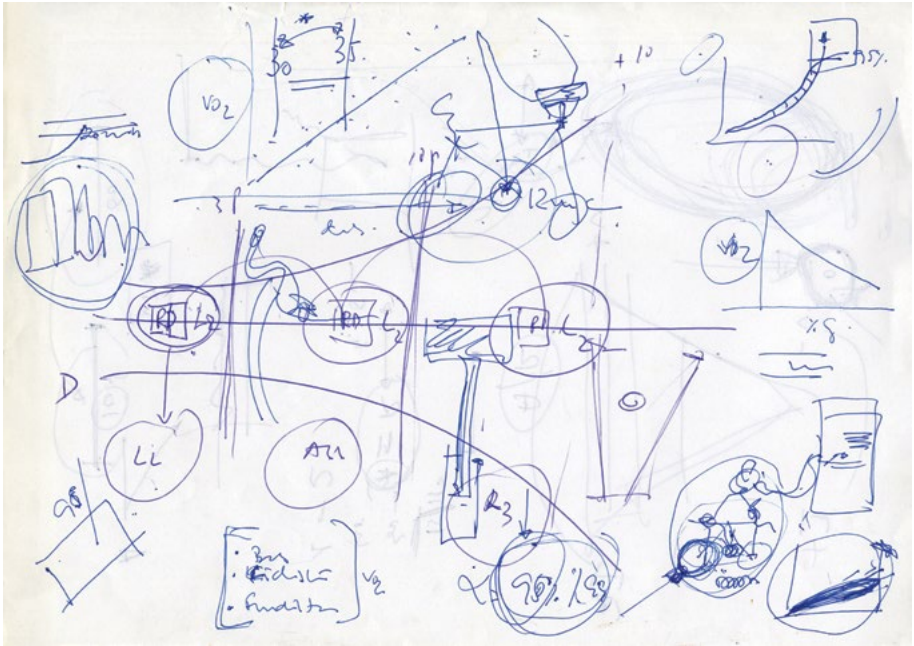
FADEUP



- 6 *Estratégias de basquetebol (interação professor-estudante): Representação do movimento dos jogadores sem bola (traço contínuo), do jogador com bola – em drible (zig-zag), e do movimento da bola após passe (tracejado) / Basketball strategies (professor-student interaction): Representation of player movement without the ball (continuous line), player with the ball – on dribble (zig-zag), and ball movement after pass (dashed line)*

Manuel Janeira, s.d.

Esferográfica e lápis em papel / Ballpoint pen and pencil on paper, 29,7 x 21 cm
FADEUP



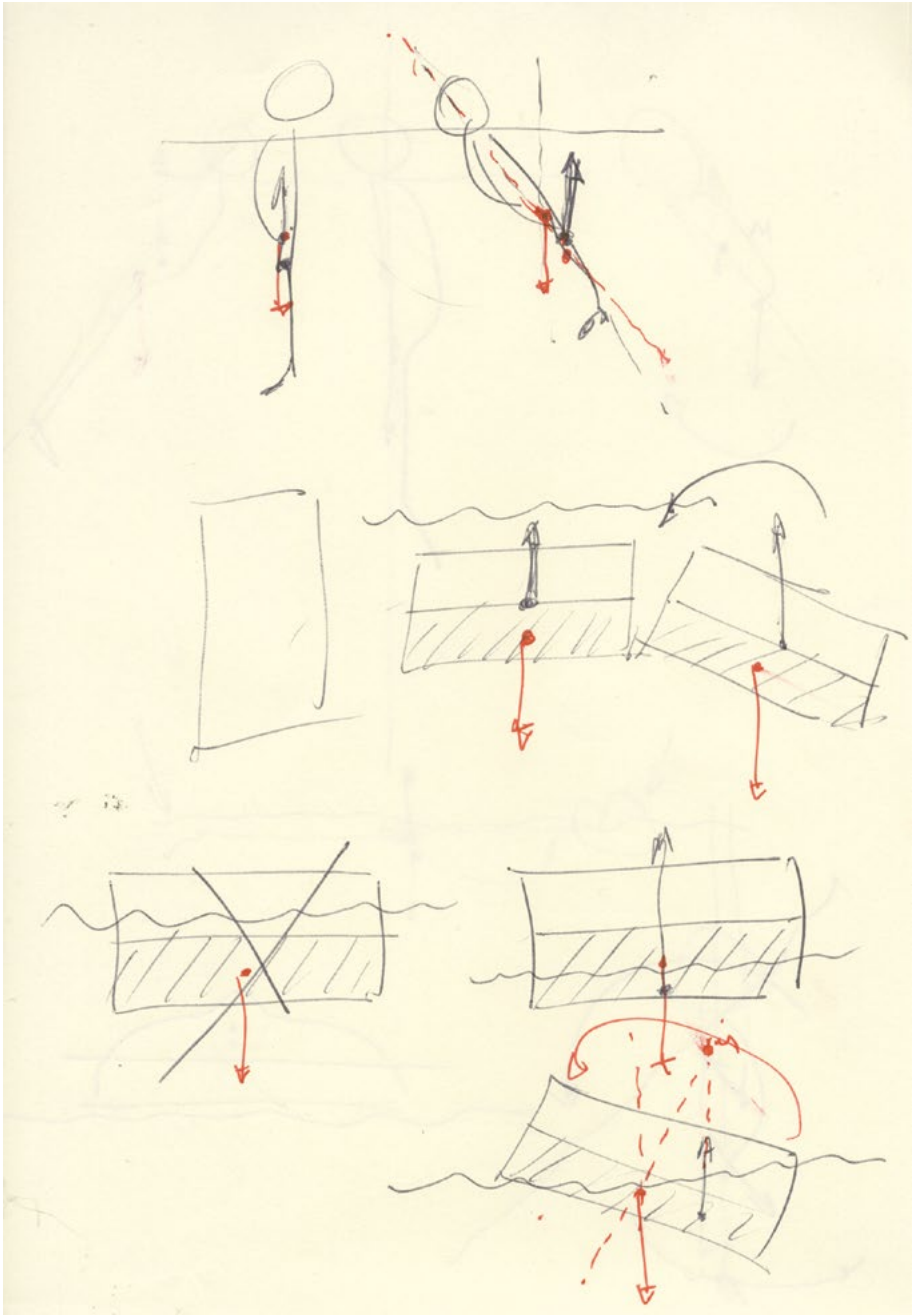
- 7 *Caracterização do esforço e análise do jogo de basquetebol. Indicadores de jogo; preparação para o desempenho desportivo e comparação entre diferentes desportos / Assessment of effort and basketball performance analysis. Performance indicators; preparation for sport performance and comparison between different sports*

Manuel Janeira, s.d.

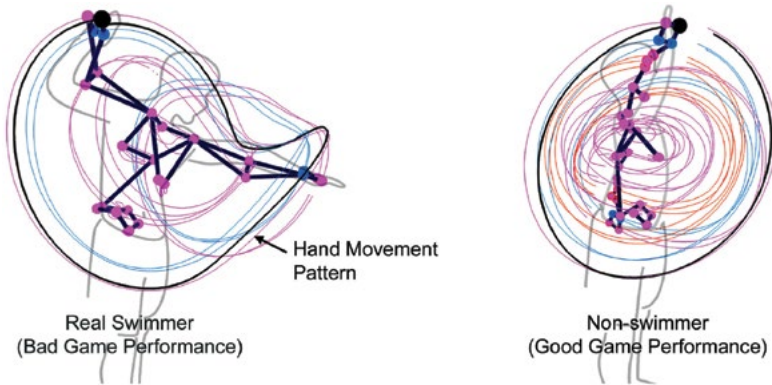
Esferográfica e lápis em papel / Ballpoint pen and pencil on paper, 29,7 x 21 cm
FADEUP



- 8 *Walking trial - marker locations and mass and frame rate information*
Filipa Sousa, s.d.
Esferográfica vermelha e fotocópia em papel
/ Red ballpoint pen and print on paper
FADEUP



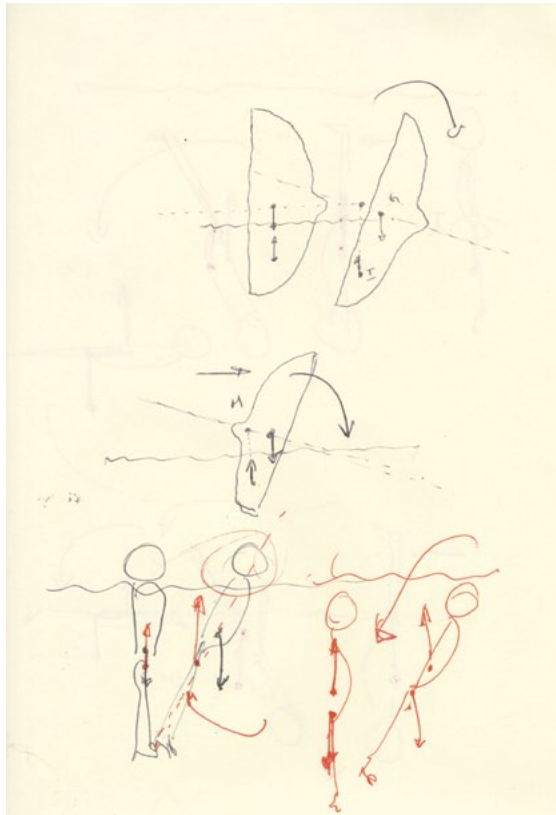
- 9 *Determinantes mecânicas do equilíbrio humano no meio aquático*
/Mechanical determinants of human balance in aquatic environment
 João Paulo Vilas-Boas, 2022
 Esferográfica e caneta sobre papel
 / Ballpoint pen and pen on paper, 20,2 x 13,9 cm
 FADEUP / LABIOMEF



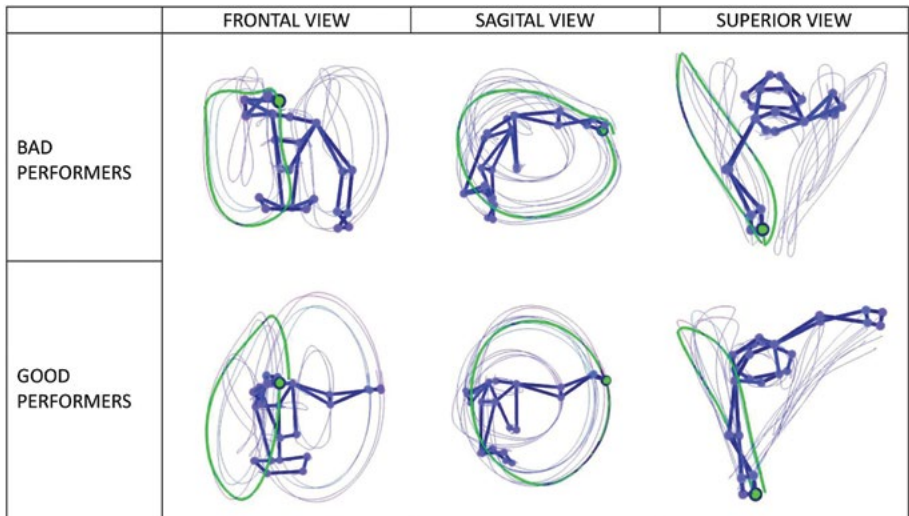
11 *Movement patterns during swimming exergame*

Pooya Soltani, João Paulo Vilas Boas

Publicado / Published in: Soltani, P. & Vilas-Boas, J.P. (2017). Sport Exergames for Physical Education. in Khosrow-Pour, M. (ed.). *Encyclopedia of Information Science and Technology* (4th ed.). Hershey PA: IGI Global, p. 7362.



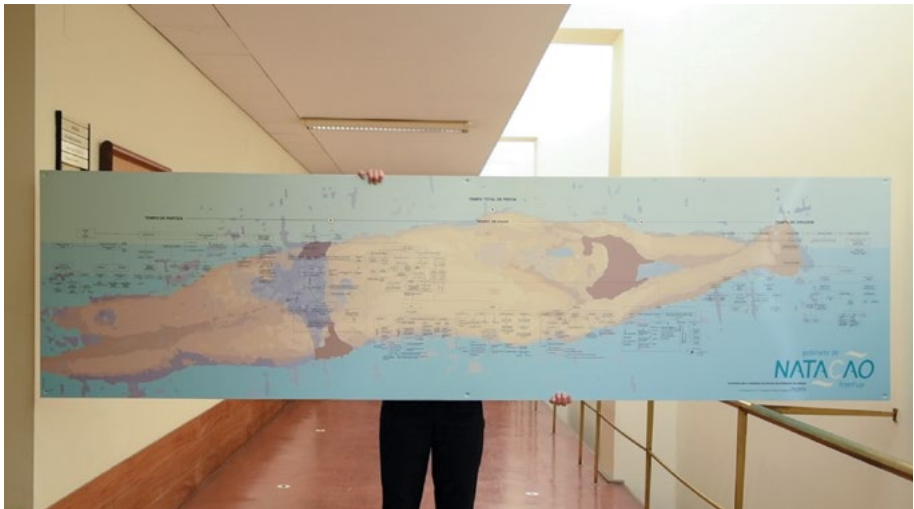
- 10 *Determinantes mecânicas do equilíbrio humano no meio aquático*
/ Mechanical determinants of human balance in aquatic environment
 João Paulo Vilas-Boas, 2022
 Esferográfica, caneta e marcador sobre papel
 / Ballpoint pen, pen and marker on paper, 20,2 x 13,7cm.
 FADEUP / LABIOMEPE



12 *Sample hand pattern in one complete cycle in front crawl*

Pooya Soltani, João Paulo Vilas Boas

Publicado / Published in: Soltani, P. & Vilas-Boas, J.P. (2013). Exploring learning effects during virtual swimming using biomechanical analysis (a work in progress). *Proceeding of 7th European Conference on Games Based Learning*. Porto: ISEP, p. 796.

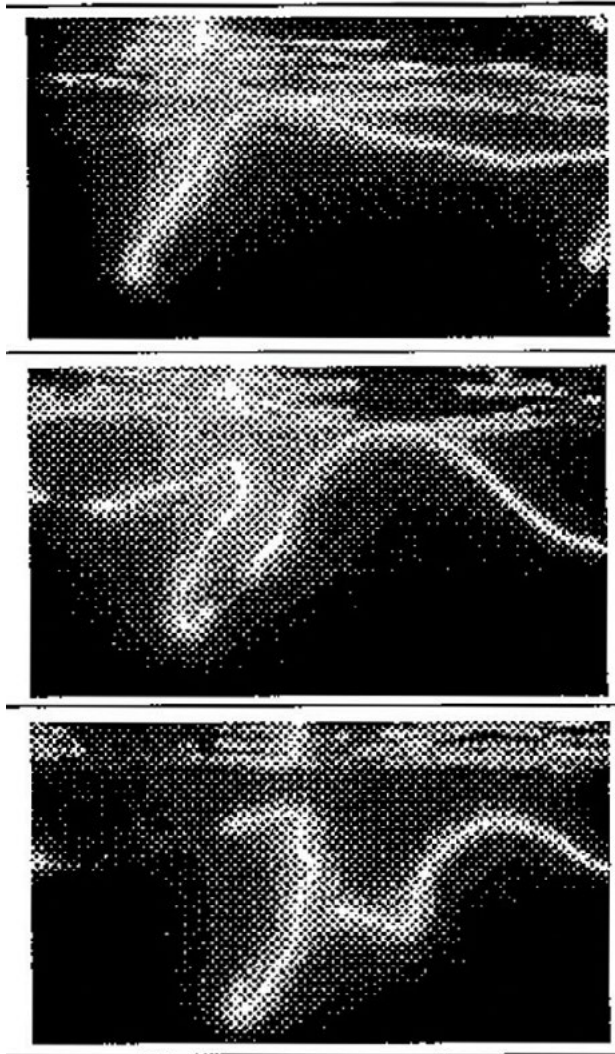


13 *Contributo para a modelação da estrutura de rendimento em natação*
/ *Contribution to modelling a performance structure in swimming*

João Paulo Vilas-Boas, s.d.

Impressão em PVC / PVC printing

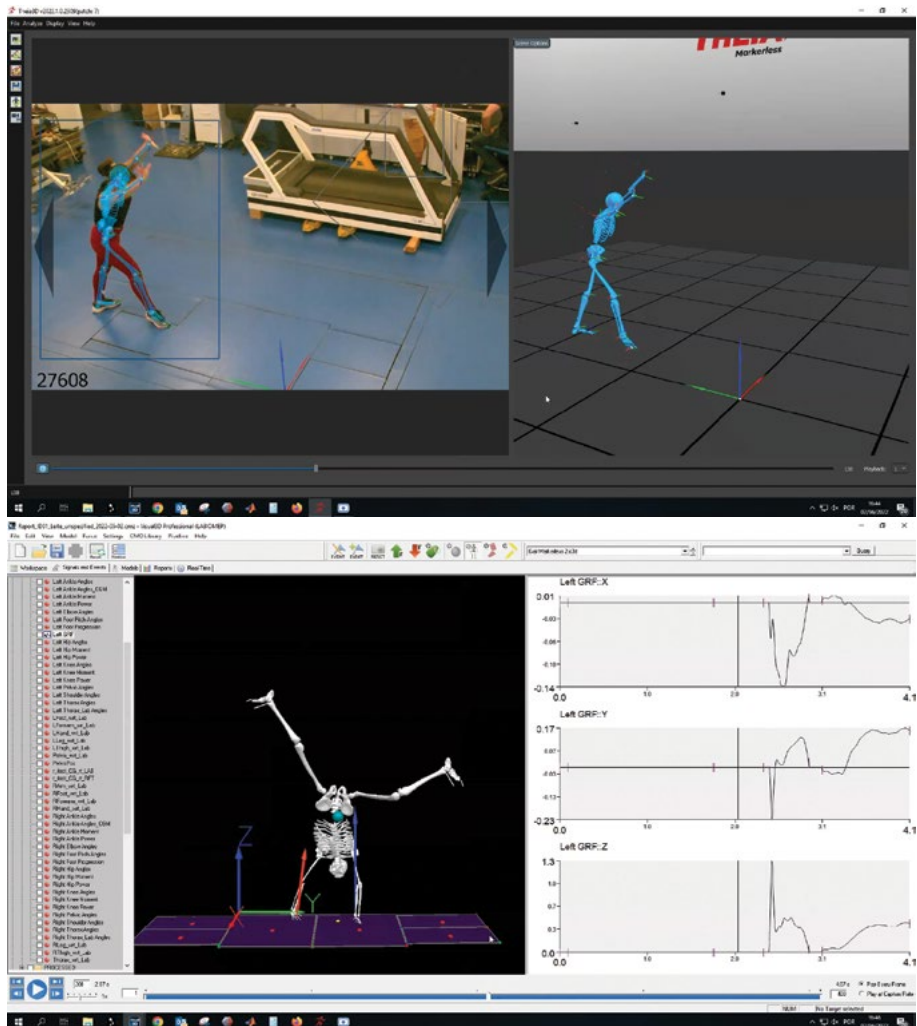
FADEUP, Gabinete de Nataação / FADEUP, Swimming Cabinet



- 14 *Exemplos dos registos fotográficos dos movimentos do pé no plano sagittal (perspectiva lateral) nas três variantes da técnica de bruços (Bruços formal, bruços natural, bruços natural com recuperação aérea dos membros superiores) / Examples of photographic records of the movement of the foot in the sagittal plane (lateral perspective) in the three variants of the breaststroke technique (Formal breaststroke, natural breaststroke, natural breaststroke with air recovery of the upper limbs)*

João Paulo Vilas Boas, 1993

Publicado / Published in: Vilas-Boas, J. P. (1993). Caracterização biofísica de três variantes da técnica de bruços. Tese de Doutoramento no Ramo de Ciências do Desporto, especialidade de Biomecânica do Desporto. Porto: Faculdade de Ciências do Desporto e Educação Física da Universidade do Porto, p. 124.



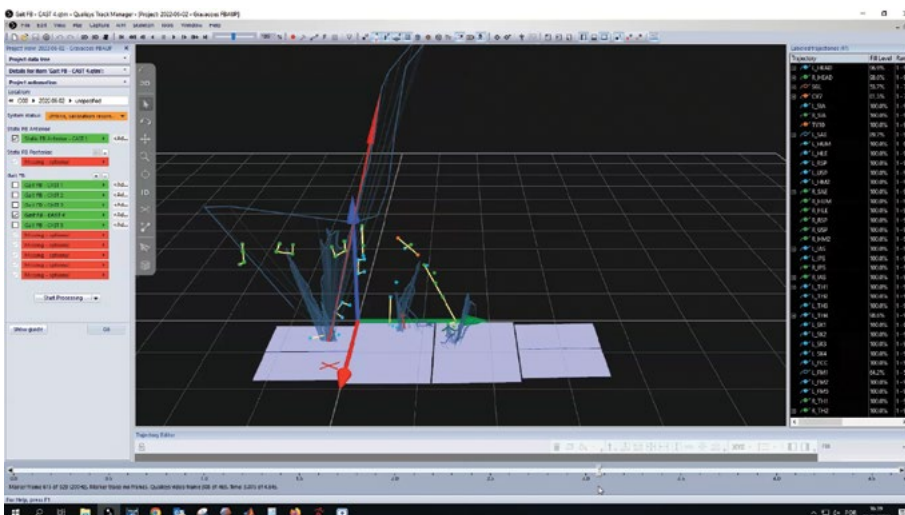
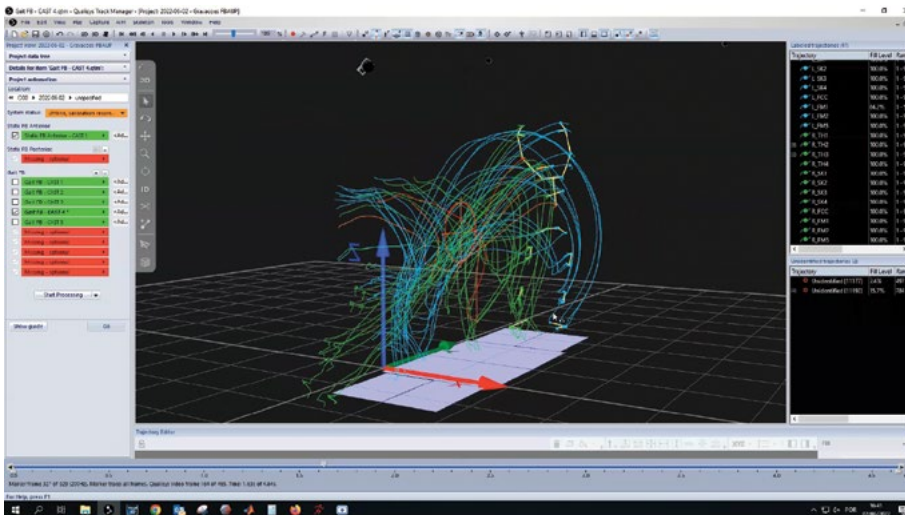
15 *Identificação de movimento ótico por meios de inteligência artificial*
/ Optical motion identification by means of artificial intelligence

Pedro Fonseca, s.d.

Markerless Motion Capture (Theia 3D)

Modelação biomecânica / Biomechanic modelling (Visual3D)

LABIOMEPE



- 16 *Sistema ótico de captura de movimento (Identificação de trajetória)*
/ Optical motion capture system (Trajectory Identification)
 3D motion capture data
 Pedro Fonseca, s.d.
 Qualisys Track Manager
 LABIOMEPE

*Diagramas, esquemas e figuras.
Visualização e representação de conceitos
em física e astronomia*

Jorge Marques

Introdução

O recurso a representações gráficas como diagramas, esquemas, figuras, anotações gráficas, esboços, modelos tridimensionais ou outras formas de representação visual, faz parte do processo de comunicação e *representação* de conteúdos complexos e é uma forma de mostrar o que não é observável de outros modos. A possibilidade de *ver* uma lei da Física, a partir de um desenho, por exemplo, partilha um campo transversal entre arte e ciência, onde o desenho concretiza uma forma possível de tornar visível o que pode ser conhecido e *projetar* o que ainda não se conhece. Trata-se, no fundo, de uma forma, um traço, um gesto – uma síntese – que estrutura nas suas relações a procura de sentido. Procurar o sentido é, em grande medida, responder a questões e definir problemas na visualidade dos traços, entre a forma do desenho e o conteúdo do conhecimento. Mas este pode ser um equilíbrio instável em que a modificação de um dos territórios poderá modificar o sentido do outro.

Neste texto, reflete-se sobre os desenhos – diagramas, esquemas, figuras, anotações gráficas – como recurso fundamental para aprofundar o entendimento de conteúdos complexos no ensino da Física e Astronomia. Procura-se, a partir dos desenhos, interpretar os modelos de representação, comunicação e visualização de conteúdos complexos, e a função das representações visuais no ensino da Física e Astronomia.

O âmbito do texto está centrado em material gráfico recolhido essencialmente de sebatas, documentos impressos e outros, das Unidades Curriculares – “Introdução à Relatividade Geral”, “Relatividade Geral, Fundamentos de Termodinâmica” e “Mecânica Estatística e Eletrónica e Instrumentação” – do departamento de Física e Astronomia, da Faculdade de Ciências da Universidade do Porto (FCUP).

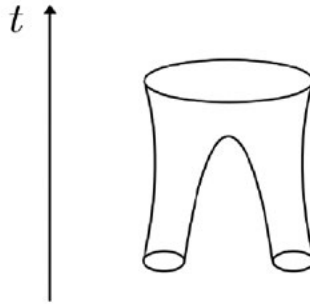


Fig. 1 – *Visualização do Teorema de Hawking do Aumento da Área (Segunda Lei da Termodinâmica dos Buracos Negros) por meio de “diagrama das calças”.* (Orfeu Bertolami, FCUP – Departamento de Física e Astronomia)

(1)

Todos os dias interagimos com imagens, representações gráficas ou visuais, que representam coisas. Algumas dessas imagens são desenhos. Alguns desses desenhos apresentam conceitos, teorias, leis, estruturas simples ou complexas, fenómenos observáveis ou não, cujo conteúdo está, muitas vezes, para além do plano visual. As representações visuais, para além de darem informações visivas, espaciais e temporais, podem indicar direções de forças, mostrar a tipologia de um circuito e descrever uma interação dinâmica. Podem ter, igualmente, um papel fundamental na comunicação e visualização de conceitos. Em parte, porque produzem um conteúdo visual, uma produção gráfico-visiva – na linguagem de Massironi (1982) – que é possível observar, tentando entrar no traço desse desenho, parafraseando Anton Francesco Doni, ver (e fazer) no mesmo tempo em que é mostrado.

O desenho é, em certa medida, uma ferramenta simples para fazer perguntas, definir problemas, construir explicações, desenhar soluções. E os vários tipos de desenhos, num sentido lato, funcionam como *cadeias semânticas*, que incorporam nos seus processos gráficos uma procura de sentido, certamente útil, para veicular diferentes conteúdos. Esta percepção transdisciplinar, que combina desenho e conhecimento, responde a uma integração de saberes entre domínios. Esta será porventura a parte mais complexa do processo – entender os níveis de conhecimento que podem ser ativados ou incorporados – para representar graficamente um conteúdo específico de forma eficaz, precisa e rigorosa. Este propósito corresponde em grande medida à necessidade que a ciência, e os cientistas em particular, têm em encontrar um modo de representar e comunicar resultados. A representação visual presume uma evidência, algo que possa ser mostrado, revelado, visto, como parte do que pode ser dito, escrito ou explicado, quer se trate da transcrição de um objeto ou da comunicação de um conceito.

Uma boa representação visual, do mesmo modo que uma boa representação gráfica ou um bom desenho, podem esclarecer rapidamente um conceito complexo. Pelo contrário, um mau desenho, uma má representação visual ou gráfica, poderá levar a erros sérios de interpretação. Num artigo publicado em 2014, *How to make a good animation: A grounded cognition model of how visual representation design effects the construction of abstract physics knowledge*, Zhongzhou Chen, identifica algumas questões nas formas convencionais de representação visual (entenda-se gráficos, diagramas, esquemas, figuras e outros), usadas no ensino da Física e que podem, em algumas situações, contribuir para a formação de equívocos ou, ainda, dificuldades de interpretação dos conceitos representados. Segundo Chen, estas questões decorrem frequentemente do modelo de representação usado, mas também do modo como é, visual e graficamente, resolvido. Na verdade, e tratando-se fundamentalmente de *representações visuais estáticas* (Agus Suyatna *et al.*, 2017), a transposição gráfica de interações dinâmicas, por exemplo, exige um nível de entendimento capaz de desenhar uma solução de visualização sem que se quebre a cadeia de conhecimento. Recorrendo a um ou mais desenhos, que se podem relacionar numa sequência temporal, o desenho monta, potencialmente, uma interação dinâmica, mas não mostra o processo. Há uma

dimensão temporal, em determinadas interações, que os recursos do desenho ainda não conseguem resolver objetivamente: a representação do movimento e do tempo.

Esta lacuna, tem vindo a ser resolvida com o recurso a representações visuais dinâmicas como o vídeo ou a animação (Agus Suyatna *et al.* 2017), que poderão fornecer informações mais claras sobre representações que descrevem interações dinâmicas.

Todavia, apesar desta lacuna, a diversidade de representações visuais estáticas, incluindo os desenhos, permitem uma maior adaptabilidade à representação de diferentes conteúdos. Este é um aspeto importante e justifica que se continue a estudar processos de desenho capazes de responder a esta necessidade. Quer se trate de conteúdos mais objetivos, mais abstratos ou conceituais, as representações visuais estáticas, como os desenhos, permitem *olhá-los* mais vezes, usando o tempo de observação necessário para compreendê-los, na forma e no conteúdo. Permitem, ainda, na relação com a palavra, construir ligações para o seu entendimento mais persistentes. Para quem desenha, tanto cientistas, professores, investigadoras, nos seus cadernos de campo ou nas suas sebatas, como estudantes, no seu processo de aprendizagem, sentem que o desenho e o desenhar, ao procurar representar e tornar visível o seu objeto de estudo, são convocados, na linguagem de Olga Pombo, (2010, p. 11) a ampliar a sua capacidade de observação e atenção. Mas também para compreender o que, sem os desenhos, não se compreenderia. Os desenhos fazem parte de um processo de conhecimento, como suporte de significados que, pelas palavras, não se conseguem dizer (Olga Pombo, 2010). A consciência de que desenhar é ver e ver é compreender (Lemons, 2017) sintetiza a ideia de que o desenho, mais do que um dispositivo para visualização, é também uma ferramenta cognitiva adaptada ao ensino. O papel dos desenhos ou das representações gráficas, no ensino da Física, é uma preocupação importante porque a compreensão de um conceito, teoria ou lei, pode ser influenciada pelas representações visuais. É esta preocupação que leva Chen a questionar-se sobre quais os elementos-chave para uma boa representação visual. Ou, que desenhos ou modelos visuais são os mais adequados para a representação de conceitos abstratos?

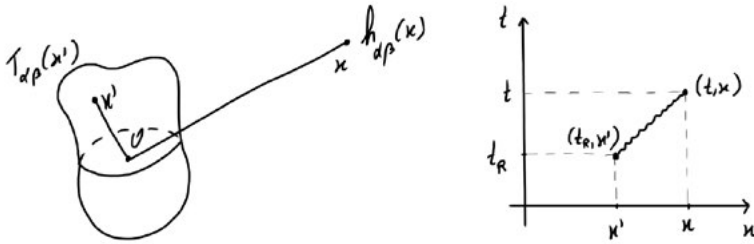


Fig. 2 – Esquema (esq.) e Diagrama (dto) de Emissões de ondas gravitacionais (Miguel Costa, FCUP – Departamento de Física e Astronomia).

Segundo Chen & Gladding (2014, p. 1), “estas questões não têm respostas fáceis, já que é impossível apenas olhar para uma representação visual e avaliar intuitivamente se ela é boa ou má, ou identificar quais os elementos que precisam ser alterados para torná-la melhor”. Pois a maneira como interpretamos qualquer representação visual, incluindo desenhos, é influenciada tanto pelo nosso conhecimento na área que estamos a trabalhar, como pela nossa capacidade de (ler) decodificar os componentes da representação. Ou seja, o modelo cognitivo para a perceção de representações gráficas ou visuais é influenciado pelo nível de conhecimento associado aos conteúdos que estamos a trabalhar. Assim, podemos deduzir que o nível de conhecimento que temos numa determinada área, como a Física, por exemplo, favorece a perceção do que pode ser modificado nas representações gráficas e visuais usadas nos diversos modelos de representação e visualização de conteúdos. Todavia, poder-se-á colocar um problema. Este tem que ver com a capacidade que qualquer cientista, professor, investigadora, ou estudante, tem em operar com o instrumento gráfico, os componentes do desenho e a sua função no plano da representação.

Podemos dizer-se que a qualidade das representações, em sentido lato, dependerá do equilíbrio dos domínios de conhecimento associados. Desta interação dependerá também a possibilidade de se conseguirem representações visuais mais eficazes, onde o desenho é um resultado evidente dessa interação. Este é claramente um propósito que a utilização do desenho, no ensino da Física, procura responder. Quando perguntamos a qualquer estudante, qual a importância das representações visuais no ensino da Física, ficamos a saber que a inter-

pretação e compreensão de um conceito, uma teoria ou lei, fica mais fácil quando se vêem representados num esquema (Ainsworth *et al.* 2011). Não obstante, alguns diagramas, esquemas ou figuras podem ser absolutamente claros para professores ou investigadores e, no entanto, serem confusos para estudantes.

Existe, todavia, uma preocupação permanente em trabalhar e melhorar as representações, essencialmente, porque continuam a ser precisas para visualizar e comunicar resultados e mostrar uma adequada compreensão concetual. Os desenhos são, em certo sentido, uma síntese onde os dados, graficamente representados, permitem organizar o conhecimento de forma mais eficaz, podendo reduzir ou eliminar a natureza abstrata de um conceito.

Ainda assim, segundo Chen & Gladding (2014, p. 2), o que torna o ensino da Física tão difícil de explicar é que a maioria dos conceitos físicos, como energia e momentum, não tem qualquer característica visual percetiva. Estes conceitos estão mais relacionados com representações verbais, utilizando palavras ou expressões matemáticas, do que com representações visuais. Outras grandezas difíceis de representar são os campos elétricos e campos magnéticos. Esta lacuna vai sempre existir, “talvez porque alguns conteúdos sejam muito difíceis de desenhar, e pode ser contraproducente fazê-lo” (Ainsworth *et al.* 2010).

Não obstante, os manuais de Física recorrem a muitas e diversas representações gráficas e visuais, como fotografias, anotações, gráficos, fórmulas, esquemas, diagramas, figuras, feitas à mão livre ou a partir da utilização de algum software de desenho, utilizando descritivos visuais como a posição (no plano), orientação, forma, variação gráfica do traço (ponto e a linha), etc., frequentemente ligadas a representações verbais.

Deste confronto entre gramáticas entre representações gráficas e representações verbais, procuram-se os níveis de conhecimento que podem ser incorporados e comunicados, por um lado, pelos desenhos – diagramas, esquemas, figuras ou anotações gráficas – e, por outro lado, pela linguagem escrita. Não tem que existir uma ligação estreita entre a linguagem escrita e a execução do desenho. É mais frequente existir uma relação de complementaridade entre linguagens. Pode ser uma tentativa de “dizer quase a mesma coisa”, na linguagem de Umberto Eco (2005), como se se tratasse de um exercício de tradução. Todavia, a principal finalidade destes desenhos é comunicar, independentemente do tipo de ligação e modelo de representação.

A realização gráfica “prevê vários níveis de comunicação (e todos pelo menos suficientes em diversos graus de comunicação): desde o ingénuo que todos podem executar em circunstâncias específicas e em que a aprendizagem sistemática é inexistente, ao mais complexo e sofisticado em que a aprendizagem específica desempenha um papel fundamental” (Massironi, 1982, p. 108).

(2)

O instrumento gráfico adapta-se a qualquer novo objetivo comunicativo, e a plasticidade inerente aos processos gráficos do desenho “permite elaborar representações visuais, adaptadas ao conteúdo que queremos comunicar. A linguagem escrita, por outro lado, apresenta uma estrutura notavelmente estável, e são os novos conteúdos que se adaptam ao instrumento que os comunica” (Massironi, 1982, p. 108). Este é um aspeto importante a considerar. À estrutura e objetividade da linguagem escrita, responde a ductilidade do desenho, na capacidade de se reordenar, modificar e adaptar ao nível de comunicação necessário.

Desenhar o desenho

Pedir a um estudante que leia um texto e desenhe o que entendeu, por exemplo, exige que ele explicita esse entendimento de um modo que pode ser mostrado, (independentemente do grau de comunicação). Trata-se, no fundo, de uma maneira de converter dados em imagens (Pombo, 2010, p. 245). Ao contrário das descrições escritas ou das explicações orais, os desenhos incorporam indicadores visuo-espaciais, que ajudam na compreensão concetual e na distinção das principais características daquilo que é descrito pelas palavras ou explicado oralmente. Desenhar pode mudar a forma como estudantes interagem com os conteúdos que estão a trabalhar.

Para qualquer estudante, entender as ondas sonoras, por exemplo, pode envolver ser capaz de coordenar uma série de diagramas de onda, representações sequenciadas de partículas de ar em movimento e as correspondentes variações de pressão (Ainsworth *et al.* 2011). Este processo envolve frequentemente a interpretação (ou uso) de

elementos gráfico-visivos para responder às necessidades discursivas. O desenho é um dispositivo flexível e adaptado para responder às necessidades de representação multimodais (utilizadas na ciência), e um dispositivo essencial de comunicação e de apoio à aprendizagem.

Tradicionalmente, as práticas de ensino concentram-se principalmente em fornecer representações visuais que são disponibilizadas a estudantes, em materiais de apoio às aulas ou em problemas práticos (Rau, 2017; Tippett, 2016). Raramente os estudantes são motivados a construir os seus próprios desenhos para aprender os conteúdos que estão a trabalhar (Cox 1999; Van Meter e Garner 2005). As experiências mostram que os estudantes que criam os seus próprios desenhos superam os que fazem a sua investigação a partir de imagens (genéricas) que podem ser usadas como exemplo (Gagnier *et al.* 2016; Mason *et al.* 2013). Ainda assim, o estudo mediado pelos desenhos, quer se trate de produções visuais pré-existentes, quer a partir de produções gráficas realizadas pelos estudantes no processo de aprendizagem, “envolve diretamente os estudantes com o conteúdo a ser aprendido para ajudá-los a raciocinar ativamente – aprendizagem generativa –, focar as suas interações com o conteúdo em conceitos difíceis – autorregulação –, integrar o conteúdo com seu conhecimento prévio (...) e refletir sobre o conteúdo mostrado nos seus desenhos – cognição espacial” (Wu & Rau, 2019, p. 91).

(3)

Modelos de representação

Os desenhos assumem, naturalmente, uma codificação visiva. Fazem parte das estratégias para o ensino, para a comunicação e visualização de conteúdos complexos. Todavia, e para além dos problemas já identificados relacionados com o tipo de conteúdo, em particular os não assentam na representação do objeto, importa perceber quais os modelos de representação visual que servem a visualização.

Massironi (1982, p. 112) refere um aspeto particular destas representações, nomeadamente “o elenco exemplificativo das áreas de conteúdo que deram origem a modos de codificação baseados no desenho, como os diagramas e gráficos” – que não deriva necessariamente da representação dos objetos. O fim para que tendem não é a representação dos objetos, mas uma área de conceitos e relações referentes a indicadores quantitativos, qualitativos, dimensionais, espa-

ciais, temporais, em codificações gráficas rigorosamente estruturadas e integradas no processo de comunicação (Tufte, 1997). Trata-se das muitas e diferentes formas em que um determinado conceito ou problema complexo pode ser expresso ou representado visualmente: um gráfico, figura, diagrama, esquema, fórmula, etc.

A maioria destas representações estruturam-se a partir de estratégias de representação diagramáticas, geralmente a partir de critérios funcionais.

Modelos diagramáticos

Os modelos diagramáticos apresentam geralmente uma visão abstrata qualificada para a visualização de fenómenos ou estudos de problemas complexos. Em última instância, estes modelos podem ser expandidos para mostrar ligações entre os conceitos ou conteúdos (Clemens, 2022). No plano de representação, (i.e., a superfície onde se dispõem os traços que constituem o desenho) e no plano de visão, o modo como se dispõem os conteúdos do desenho numa apresentação gráfica decorre de dois tipos (Massironi, 1982, p. 33, Gibson, 1950): (a) Frontal – quando os planos representados encontram perpendicularmente o eixo ótico; (b) Inclinado – quando esses planos aparecem inclinados ou paralelos em relação a esse eixo.

As representações de plano frontal estão geralmente associadas a produções gráficas, com marcações precisas. Indicam, sobretudo valores dimensionais, possibilidades operativas, relações entre partes, o seu funcionamento, etc., cuja função é claramente denotativa.

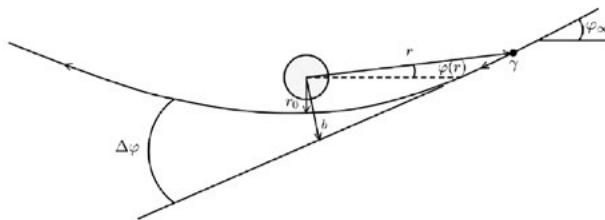


Fig. 3 – Diagrama das quantidades envolvidas no cálculo da deflexão da luz pelo Sol. (Deflexão exagerada.) (Orfeu Bertolami, FCUP - Departamento de Física e Astronomia)

Quando o plano de representação é inclinado, as produções gráficas vêm-se projetadas de um ponto de vista infinito, os raios de projeção são paralelos entre si, obtém-se um tipo particular de projeção *paraperspética* definida como axonometria. A axonometria é um modelo gráfico para representação de dados ou figuras, estruturado, construído sobre regras estáveis, adequado a representar qualidades métricas, fornecendo ao mesmo tempo uma visão de tridimensionalidade e profundidade, frequentemente a partir de critérios funcionais (Massironi, 1982, pp. 101-106).

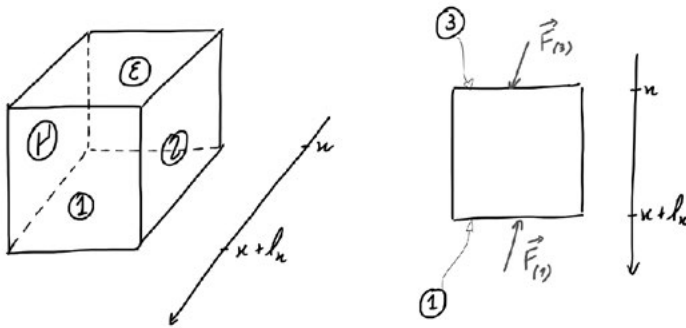


Fig. 4 – *T é simétrico*. Relatividade Geral (Miguel Costa, FCUP – Departamento de Física e Astronomia)

A maioria das representações gráficas apontam hipóteses (ou soluções) segundo um conjunto particular de características visivas (Massironi, 1982, p. 134). O que aparece expresso graficamente não é, necessariamente, a forma do objeto, mas uma forma que mostra como os diversos elementos de um conceito científico, por exemplo, podem ser visualmente representados. As representações gráficas respondem, neste caso, a uma das condições em que só um raciocínio por imagens – quer se trate de um objeto ou conceito – assumindo uma forma registável e visiva, possibilita o seu reconhecimento, compreensão e descrição.

As representações visuais, incluindo os desenhos, são fundamentais para apoiar o processo de perceção de dados complexos. Quer se trate da perceção como observação direta, quer da perceção que encontra nos instrumentos adaptados (óculos, microscópios, lunetas, telescópios etc.) uma forma de tornar visíveis, mensuráveis ou avaliáveis

fenómenos ou conceitos que, de outro modo, não se conseguiriam perceber (Massironi, 1982, p. 139). Na verdade, intuídos ou observados experimentalmente, ou ainda, a partir dispositivos óticos, o desenho constrói uma distância útil para visualizar e comunicar resultados.

(4)

Exemplo

Podemos dizer que a Física ou a Astronomia, como de resto outras áreas das ciências, são atravessadas por um conjunto de conceitos complexos que, “para serem demonstrados teoricamente e utilizados instrumentalmente”, precisam de assumir uma forma gráfica. Massironi (1982, p. 142) refere o conceito de *grandeza vetorial*, demonstrando como, no campo da física, se procurou uma dimensão gráfica apropriada, não só para ser descrita corretamente, mas também para funcionar como instrumento de pesquisas posteriores.

A grandeza vetorial deve exprimir três dados: intensidade, direção, e ponto de aplicação, e a forma de uma seta presta-se a torná-la visível imediatamente prescindindo das diferentes condições que possam gerar essa grandeza (...).

A representação gráfica de uma seta (\rightarrow) é o que torna visivo, descritivamente apropriado, mas também operativamente útil. Tratando-se de uma codificação gráfica, representa, no entanto, uma grandeza física, representada por um segmento de reta orientado. Este combina, na sua expressão gráfico-visiva, um elemento gráfico do desenho (linha), que define o segmento de reta orientado, um sinal gráfico (\rightarrow), que nos indica a direção segundo a qual determinada grandeza está a atuar; o sentido (p. ex.: da esquerda para a direita ou da direita para a esquerda); o comprimento do vetor (nem sempre à escala, procura mostrar a ideia de que o comprimento do vetor seja proporcional ao valor da grandeza – e duas letras (p. ex.: AB), que designam, respetivamente, a origem e a extremidade do vetor, quando se trata de uma distância física.

No fundo, é uma espécie de desvelamento dos conceitos que permite isolar alguns aspetos que possam provir por analogias a inscreverem-se por formas visivas. Este princípio pode, de resto, apli-

car-se à atividade científica em geral, que pode assim ver os conceitos definidos, comunicados e reproduzidos. Por outras palavras, a atividade científica, procura nos processos gráficos, encontrar formas visivas que respondam às suas necessidades.

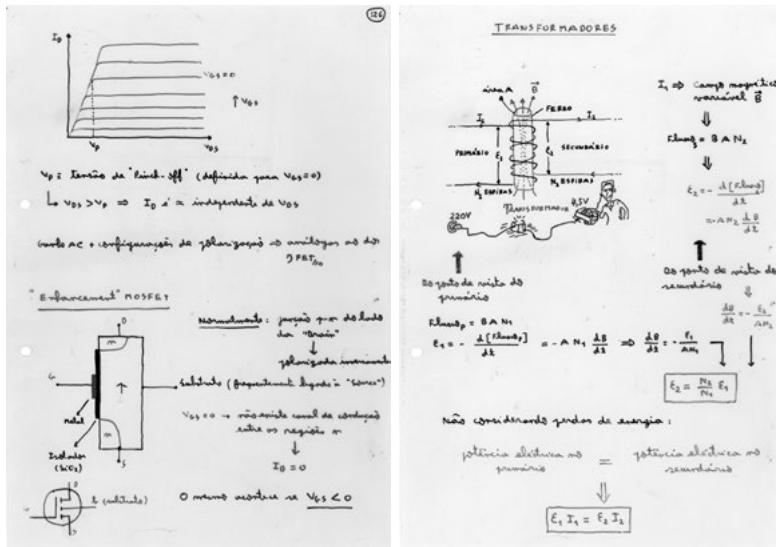


Fig. 5, 6 – Anotações gráficas, desenhadas em folhas de acetato (p.12 e p.15) para apresentação em contexto de aula. Eletrónica e Instrumentação. (José Luís Santos, FCUP – Departamento de Física e Astronomia)

(5)

Na revisão da literatura, a referência a processos, modelos e modos de representação gráfica ou visual está muito presente na sua função comunicativa, quer em contexto de investigação quer de ensino. Os manuais, revistas, *posters*, artigos etc., quando acompanhados por imagens, incluindo desenhos, são normalmente referidos na articulação com o texto, que os mostra como exemplo. Expressões como: “a figura abaixo”, “como mostra o diagrama”, “podemos ver no esquema”, etc., aparecem frequentemente, sem que haja necessariamente um critério de utilização relativamente ao tipo e função do desenho. Ou seja, poderemos ver desenhos de tipo e função diferentes indicados do mesmo modo. A preocupação maior parece ser construir uma ligação visiva, que permita atingir um resultado cognoscitivo que, de outro modo, poderá ser difícil de alcançar.

(6)

Tipos de desenhos

Os desenhos apontam diferentes *qualidades* formais, operativas e comunicativas representadas graficamente sobre uma superfície. Estão normalmente relacionados com as formas de conhecimento e as suas aplicações.

Diagramas e gráficos são formas estruturadas e simplificadas de representação, a partir de elementos gráfico-visivos básicos como a linha, por exemplo. Os diagramas e gráficos utilizam o plano fronto-paralelo (Massironi, 1982, p. 112) sobre o qual podem ser construídas relações gráfico-visivas que permitem ordenar, comparar, expor e definir os dados de um objeto ou de um conceito; possuem um carácter instrumental (para visualização), são auxiliados por um conjunto de regras e facilitam a visualização e interpretação dos dados.

Os diagramas podem assumir várias formas de apresentação gráfica, refletindo a estrutura do objeto ou processo analisado.

As formas dos gráficos dependem dos dados a considerar, podendo ter a aparência de gráficos de colunas, de barras, setor, circulares, de função, etc. Podem ainda integrar outras representações gráficas. A infografia combina diferentes recursos visuais e gráficos (mapas, diagramas, fotografias, gráficos, etc.) para a apresentação de informação (Tufte, 1997).

Diagramar (Graham, 2021, p. 35) – dispor graficamente todos os elementos de um conteúdo para visualização. Tem uma dinâmica que assenta, geralmente, em critérios objetivos e funcionais. Permite uma interação *comparativa* entre os elementos.

Figura – desenho ilustrativo (de um texto), configuração, linha ou conjunto de linhas que determinam uma direção ou delimitam um espaço (figura geométrica); coisa que é signo ou símbolo de outra coisa (Molina, 2005, p. 314). Combina frequentemente com um texto ou descrição, com a função de esclarecer, explicar de algum modo, tornar claro o que precisa ser transcrito no plano da representação.

Esquema – figura que não representa a forma (exata) dos objetos, mas as suas relações e funções. O esquema ocupa o espaço de mediação, ou transição, entre figuras e objetos e, quando procede por abstração, é a forma em que as ideias se geram, servindo a si mesmo, para que as ideias possam ser aplicadas ou replicadas aos objetos. O significado de esquema refere, ainda, uma ação que relaciona o conceito abstrato com a forma, cuja configuração ajuda a mediação entre as figuras e os objetos (Molina, 2005, p. 553). Reduz a representação gráfica de um objeto ou conceito aos seus elementos mais significativos.

Esboço – delineamento inicial do desenho, processo germinal do pensamento gráfico em que o traço vai ao encontro da ideia. É uma forma muito particular de compreender, na visualidade do traço, o que estamos a pensar, e que se mantém unido à ideia. Podemos sair e voltar a ele, num processo permanente de procura daquilo que estava determinado.

Anotação gráfica – indicações breves, resumidas para registar alguma coisa. Pode também ser entendida como uma tarefa ou função, que visa estabelecer uma coerência entre elementos de uma situação ou problema, recorrendo a sinais gráficos que podem ser relativos à grafia (escrita) ou ao cálculo matemático, ou ainda relativos à representação por linhas ou figuras (desenho). As anotações gráficas permitem, na articulação com um texto ou

descrição, identificar graficamente os elementos-chave, e as suas ligações, entre a leitura e a execução do desenho (Massironi, 1982, p. 108).

Grosso modo, as competências necessárias para beneficiar do desenho como um meio viável para a comunicação e visualização destes conteúdos, dependem de: (1) Facilidade representacional – que envolve a capacidade de interpretar ou produzir representações, bem como a capacidade de interpretar e alternar entre representações; (2) Flexibilidade representacional – que envolve fazer escolhas representacionais apropriadas à solução de problemas ou apropriadas a situações de aprendizagem (Cock, 2012).

Não obstante outras considerações, o desenho é um recurso simples e adaptado à representação e comunicação de conteúdos científicos, sobretudo aqueles que têm características de só se estruturarem de forma visiva.

RECONHECIMENTO

Um agradecimento aos Professores e Investigadores João Horta Belo, José Luís Santos, Miguel Costa e Orfeu Bertolami, do Departamento de Física e Astronomia da FCUP.

Referências

- Ainsworth, S., Prain, V., Tytler, R. (2011). *Drawing to Learn in Science*. Science. New York, N.Y.
- Clemens, M., *Interactive and Visual Representation: Visualizing Complex Systems Science (CSS)*. [Acessível em: <https://necsi.edu/visualizing-complex-systems-science> (05.11.2022)]
- Chen, Z., GLADDING, G. (2014). How to Make a Good Animation: A Grounded Cognition Model of How Visual Representation Design Affects the Construction of Abstract Physics Knowledge. In *Physical Review Special Topics - Physics Education Research*, 10 (1).
- Cheng, P. C-H. (1996). Problem solving and learning with diagrammatic representations in physics. In, *Forms of Representation. An interdisciplinary theme for Cognitive Science*. Ed. by D. Peterson. Exeter: Intellect Books.
- De Cock, M. (2012). Representation use and strategy choice in physics problem solving. In *Physical Review Special Topics - Physics Education Research* 8, 020117 – Published 15 November, 2012.
- Eco, H., (2005). *Dizer quase a mesma coisa - sobre a tradução*. Lisboa, Ed. Difel.
- Evagorou, M., Erduran, S.; Mäntylä, T. (2015). The role of visual representations in scientific practices: from conceptual understanding and knowledge generation to 'seeing' how science works. In *IJSTEM Ed* 2, 11.
- Graham, J. (2021). *The Being of Drawing*. London: Marmalade, Publishers of Visual Theory.
- Lemons, D. S. (2017). *Drawing Physics: 2.600 Years of Discovery from Thales to Higgs*. Cambridge (MA): The MIT Press.
- Massironi, M. (1982). *Ver pelo Desenho - aspectos técnicos, cognitivos, comunicativos*. Lisboa: Edições 70, Coleção Arte e comunicação.
- Molina, J. J., Cabezas, Cópón, M. (2005). *Los Nombres del Dibujo*. Madrid: Ed. Cátedra.
- Pombo, O., Marco, S., org. (2010). *As imagens com que a ciência se faz*. Lisboa: Fim de Século Edições.
- Suyatna, A. et al (2017). *The role of visual representation in physics learning: dynamic versus static visualization*. *J. Phys.: Conf. Ser.* 909012048.
- Tufte, E. R. (1997). *Visual Explanations: images and quantities, evidence and narrative*. Cheshire, Connecticut: Graphics Press.
- Wu, S. P. W., Rau, M. A. (2019). *How Students Learn Content in Science, Technology, Engineering, and Mathematics (STEM) Through Drawing Activities*. *Educational Psychology Review*, 31(1), pp. 87–120.

*Diagrams, schemes and figures.
Visualisation and representation
of concepts in physics and astronomy*

Jorge Marques

Introduction

The use of graphic representations such as diagrams, schemes, figures, graphical annotations, sketches, three-dimensional models, or other forms of visual representation is an integral part of the process of communicating and *representing* complex content. It serves to demonstrate what cannot be observed through other means. The possibility of *seeing* a law of Physics through a drawing, for instance, shares a transversal field between art and science. Drawing materialises a potential way of making visible what can be known and *projecting* what is not yet known. In essence, it is a form, a trace, a gesture - a synthesis - that structures the search for meaning in its relationships. Searching for meaning is, to a large extent, responding to questions and defining problems within the visibility of traces, between the form of drawing and the content of knowledge. However, this can be an unstable equilibrium in which modifying one territory may alter the meaning of the other.

This text reflects on drawings – diagrams, schemes, figures, graphical annotations – as a fundamental resource for deepening the understanding of complex subjects in the teaching of Physics and Astronomy. The aim is to interpret, through drawings, the models of representation, communication, and visualisation of complex content, as well as the role of visual representations in the teaching of Physics and Astronomy.

The scope of the text is centred around graphic material primarily collected from handbooks, printed documents and others from the courses – “Introduction to General Relativity”, “General Relativity, Foundations of Thermodynamics”, and “Statistical Mechanics and Electronics and Instrumentation” – of the Department of Physics and Astronomy at the Faculty of Sciences of the University of Porto (FCUP).

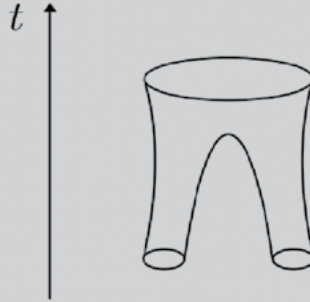


Fig.1 – Visualisation of Hawking’s Theorem of Area Expansion
(Second Law of Thermodynamics of Black Holes) through “diagram of the pants.”
(Orfeu Bertolami, FCUP – Department of Physics and Astronomy).

(1)

We interact daily with images, graphic or visual representations representing various *things*. Some of these images are drawings. Some of these drawings present concepts, theories, laws, simple or complex structures, and observable or unobservable phenomena whose content often goes beyond their visual representation. Visual representations, in addition to providing visual, spatial, and temporal information, can indicate the direction of forces, unveil the typology of a circuit, and describe a dynamic interaction. They can also play a fundamental role in the communication and visualisation of concepts. These representations generate visual content, a *graphic-visual production* in Massironi’s terms (1982), which can be observed, attempting to enter the trace of the drawing, paraphrasing Anton Francesco Doni, to see (and do) at the same time as it is shown.

Seeing through drawing

Drawing is, to some extent, a simple tool for asking questions, defining problems, constructing explanations, and envisioning solutions. The various types of drawings, in a broad sense, function as *semantic chains* that incorporate a search for meaning within their graphic processes, which is certainly useful for conveying different content. This transdisciplinary perception, combining drawing and knowledge, enables an integration of knowledge across domains. Understanding the levels of knowledge that can be activated or incorporated in order to graphically represent a specific content effectively, precisely, and rigorously is perhaps the most complex part of the process. This purpose largely corresponds to the need that science, and scientists in particular, have to find a way to represent and communicate results. Visual representation assumes an evidence base, something that can be shown, revealed or seen as part of what can be said, written, or explained, whether it is the transcription of an object or the communication of a concept.

A good visual representation, like a good graphic representation or drawing, can quickly clarify a complex concept. Conversely, a poor drawing or visual representation can lead to severe errors in interpretation. In an article published in 2014 titled *How to make a good animation: A grounded cognition model of how visual representation design affects the construction of abstract physics knowledge*, Zhongzhou Chen identifies some issues with the conventional forms of visual representation (such as graphs, diagrams, schemes, figures, and others) used in the teaching of Physics that can, under certain circumstances, contribute to misconceptions or difficulties in interpreting the represented concepts. According to Chen, these issues often arise from the chosen representation model and how it is visually and graphically resolved. In fact, since we are primarily dealing with *static visual representations* (Agus Suyatna *et al.*, 2017), the graphical transposition of dynamic interactions, for example, requires a level of understanding that enables a visualisation solution without breaking the chain of knowledge. By resorting to one or more drawings that can be related in a time sequence, one can potentially construct a dynamic interaction, but it may not show the process itself. There is a temporal dimension in certain interactions that drawing still cannot objectively resolve, such as representing movement and time.

This gap has been addressed by using dynamic visual representations such as video or animation (Agus Suyatna *et al.*, 2017), which can provide clearer information about representations that describe dynamic interactions. These dynamic visual representations can effectively convey the temporal aspects and offer a better understanding of the depicted interactions.

However, despite this gap, the diversity of static visual representations, including drawings, allows for greater adaptability in representing different content. This is an important aspect and justifies ongoing research into drawing processes that can meet this need. Whether it concerns more objective, abstract, or conceptual content, static visual representations such as drawings allow for repeated *viewing*, given the necessary time to observe and understand them both in form and content. Furthermore, in relation to words, static visual representations allow for more persistent connections, allowing for a deeper understanding of the subject matter. For Those who draw, be it scientists, professors, researchers, using journals or handbooks, or students in their learning process, while representing and making their object of study visible, called upon - in Olga Pombo's words (2010, p. 11) -, to enhance their capacity for observation and attention. Drawing also helps to understand what would otherwise remain incomprehensible. Drawings are part of a knowledge process as carriers of meanings that cannot be conveyed by words alone (Olga Pombo, 2010). The awareness that drawing is seeing and seeing is understanding (Lemons, 2017) encapsulates the idea that drawing, more than just a visualisation tool, is also a cognitive tool well-suited for teaching. The role of drawings, or graphic representations, constitutes a significant concern in the teaching of Physics as the understanding of a particular concept, theory, or law may be influenced by its visual representation. It is this concern that leads Chen to question which key elements are necessary for a good visual representation. Which drawings or visual models are most suitable for representing abstract concepts?

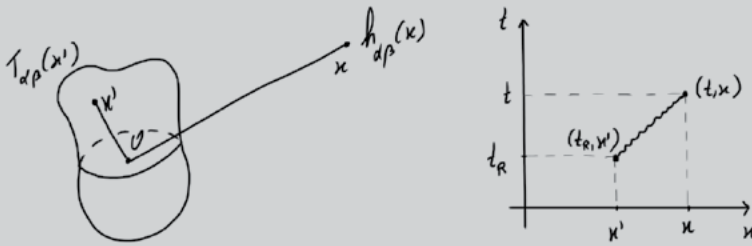


Fig. 2 – Scheme (left) and Diagram (right) of *Emissions of gravitational waves*. (Miguel Costa, FCUP – Department of Physics and Astronomy).

According to Chen & Gladding (2014, p. 1), “these questions do not have easy answers, as it is impossible to simply look at a visual representation and intuitively judge whether it is good or bad, or identify which elements need to be changed to make it better”. The way we interpret any visual representation, including drawings, is influenced by both our knowledge of the field we are working in and our ability to decode the components of the representation. The cognitive model for perceiving graphic or visual representations is influenced by the level of knowledge associated with the working content. Thus, we can deduce that our level of knowledge in a particular area, such as Physics, enhances our perception of what can be modified in the graphic and visual representations used in various models of representation and content visualisation. However, a problem may arise. This stems from the capacity of the scientist, teacher, researcher or student to operate the graphic instrument, the components of drawing and their functions in terms of representation.

It can be said that the quality of representations, in a broad sense, will depend on the balance of associated domains of knowledge. The possibility of achieving more effective visual representations will also depend on this interaction, with drawing being a clear outcome. This is a purpose that the use of drawing in the teaching of Physics seeks to address. When we ask students about the importance of visual representations in the teaching of Physics, we learn that the interpretation and understanding of a concept, theory, or law become more accessible when they are represented in a diagram (Ainsworth

et al., 2011). Nevertheless, some diagrams, schemes or figures may be evident to teachers/researchers and yet be confusing to students.

There is a constant concern to work on and improve representations, primarily because they remain crucial for visualising and communicating results and demonstrating adequate conceptual understanding. Drawings are, in a sense, a synthesis where data, graphically represented, enables the organisation of knowledge more effectively, potentially reducing or eliminating the abstract nature of a concept.

Still, according to Chen & Gladding (2014, p. 2), what makes the teaching of Physics so difficult to explain is that most physical concepts, such as energy and momentum, lack any perceptive visual characteristics. These concepts are more closely related to verbal representations, using words or mathematical expressions, rather than visual representations. Other dimensions that are also challenging to represent are electric and magnetic fields. This gap will always exist, perhaps because some content is very difficult to depict, and it may be counterproductive to do so (Ainsworth *et al.*, 2010).

Physics textbooks resort to numerous and diverse graphical and visual representations, such as photographs, annotations, graphs, formulas, diagrams, figures, hand-drawn or computer-generated. These visual elements utilise visual descriptors like position (in a plane), orientation, shape, graphical variation of traces (point and line), etc., often accompanied by verbal descriptions.

From this confrontation between the grammars of graphical representations and verbal representations, we seek to identify the levels of knowledge that can be incorporated and communicated, on the one hand, through drawings - diagrams, schemes, figures, or graphical annotations - and, on the other hand, through written language. There does not have to be a close connection between the written language and the execution of the drawing. More often, there is a complementary relationship between languages. It can be an attempt to “saying almost the same thing” in the words of Umberto Eco (2005), as if it were an exercise in translation. However, the main purpose of these drawings is to communicate, regardless of the type of connection and model of representation.

The graphic execution encompasses various levels of communication (all of them at least sufficiently communicative to varying degrees): from the naive, which anyone can perform in specific

circumstances and without systematic learning, to the more complex and sophisticated, where specific learning plays a fundamental role” (Massironi, 1982, p. 108).

(2)

The graphic instrument adapts to any new communicative objective, and the inherent plasticity of drawing processes “allows the elaboration of visual representations, tailored to the content we want to communicate. On the other hand, written language presents a remarkably stable structure, and it is the new content that adapts to the instrument that communicates them” (Massironi, 1982, p. 108). This is an important aspect to consider. Unlike the structured and objective nature of written language, the flexibility of drawing allows it to rearrange, modify, and adapt to the required level of communication.

Drawing the drawing

Asking a student to read a text and draw what they understood, for example, requires them to articulate their comprehension in a way that can be visualised (regardless of the level of communication). Essentially, it is a way of converting data into images (Pombo, 2010, p. 245). Unlike written descriptions or oral explanations, drawings incorporate visual-spatial cues that aid in conceptual understanding and in distinguishing the key characteristics of what is described by words or explained verbally. Drawing can change how students interact with the content they are working on.

For any student, understanding sound waves, for example, may involve being able to coordinate a series of wave diagrams, sequenced representations of air particles in motion, and the corresponding variations in pressure (Ainsworth *et al.*, 2011). This process often involves the interpretation (or usage) of graphic and visual elements to address discursive needs. Drawing is a flexible and adaptive tool that caters to the requirements of multimodal representation (used in science) and serves as an essential means of communication and learning support.

Traditionally, teaching practices have focused mainly on providing visual representations made available to students as class sup-

port materials or practical problems (Rau, 2017; Tippett, 2016). Rarely are students encouraged to construct their own drawings to learn the content they are studying (Cox, 1999; Van Meter & Garner, 2005). The experiences demonstrate that students who create their own drawings outperform those who conduct their research solely based on (generic) images that can be used as examples (Gagnier et al., 2016; Mason et al., 2013). Nevertheless, drawing-mediated study, whether it involves pre-existing visual productions or graphic creations made by students during the learning process, “engage students with to-be-learned content to help them actively reason about the content (generative learning), focus their interactions with the content on difficult concepts (self-regulation), integrate content with their prior knowledge (mental model integration), and reflect on content shown in their drawings (spatial cognition).” (Wu & Rau, 2019, p. 5).

(3)

Representation models

Drawings naturally adopt visual encoding. They are one of the strategies for teaching, communicating, and visualising complex content. However – beyond the already identified issues related to the type of content, especially those that do not rely on object representation – it is important to understand what visual representation models could serve to visualise such content.

Massironi (1982, p. 112) refers to a particular aspect of these representations, namely the exemplary list of content areas that have given rise to modes of coding based on drawing, such as diagrams and graphs, which does not necessarily derive from object representation. The purpose of these representations is not solely to depict physical objects but rather to encompass a realm of concepts and relationships related to quantitative, qualitative, dimensional, spatial, and temporal indicators, conveyed through rigorously structured graphic codifications integrated into the communication process (Tufte, 1997). This refers to the numerous and diverse ways a specific concept or complex problem can be visually expressed or represented: graphs, figures, diagrams, schemes, formulas, etc. Most of these representations are structured after diagrammatic strategies, often relying on functional criteria.

Diagrammatic models

Diagrammatic models often offer a qualified abstract view that enables the visualisation of phenomena or the study of complex problems. These models provide a structured and organised representation that simplifies intricate information and makes it more comprehensible. Both on the plane of representation (i.e., the surface where the constitutive traces of drawing are arranged) and in the field of vision, how the contents of the drawing are arranged in a graphical layout occurs in two types (Massironi, 1982, p. 33, Gibson, 1950): (a) Frontal - when the represented planes intersect perpendicularly with the optical axis; (b) Inclined - when these planes appear inclined or parallel to the optical axis.

Representations in the frontal plane are typically associated with graphic productions displaying precise markings. They primarily indicate dimensional values, operational possibilities, relationships between parts, their functioning, etc., in a clearly denotative function.

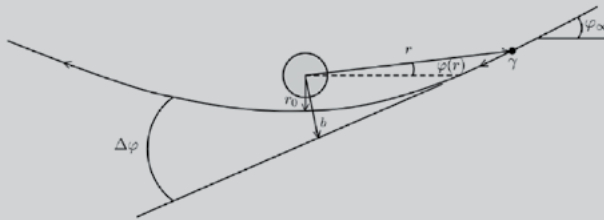


Fig. 3 – Diagram of the quantities involved in calculating the deflection of light by the Sun. (Exaggerated deflection.)
(Orfeu Bertolami, FCUP - Department of Physics and Astronomy).

When the representation plane is inclined, the graphic productions are projected from an infinite viewpoint, and the projection rays are parallel. This results in a particular type of *paraperspective* projection known as axonometry. Axonometry is a graphic model used for representing data or figures structured and built upon stable rules, suitable for representing metric qualities while providing a sense of three-dimensionality and depth, often based on functional criteria (Massironi, 1982, pp. 101-106).

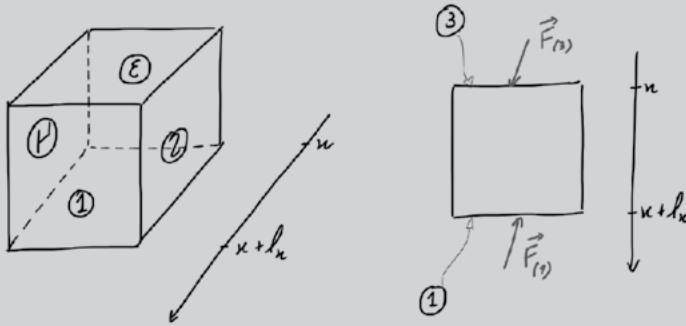


Fig.4 – *T is symmetrical. General Relativity*
(Miguel Costa, FCUP –Department of Physics and Astronomy).

Most graphic representations propose hypotheses (or solutions) based on a particular set of visual characteristics (Massironi, 1982, p. 134). What is expressed graphically is not necessarily the actual form of the object but a representation that illustrates how the various elements of a scientific concept, for example, can be visually depicted. In this case, graphic representations respond to one of the conditions in which only reasoning through images, whether an object or a concept, assuming a recordable and visible form, enables its recognition, understanding and description.

Visual representations, including drawings, are fundamental in supporting the process of perceiving complex data. Whether it is perception through direct observation or perception aided by lenses (glasses, microscopes, telescopes, etc.), visual representations make phenomena or concepts otherwise difficult to perceive, visible, measurable, or assessable (Massironi, 1982, p. 139). Whether intuited or observed (through optical devices or not), drawing constructs a valuable distance for visualising and communicating results.

(4)

Example

We can assert that Physics, Astronomy, and other scientific fields are permeated by a set of complex concepts that, in order to be theoretically demonstrated and instrumentally used, require a graphical form. Massironi (1982, p. 142) refers to the concept of *vector quantity*, demonstrating how, in the field of Physics, an appropriate graphical dimension was sought not only for accurate description but also to serve as an instrument for further research.

The vector quantity must express three pieces of information: magnitude, direction, and point of application, and the shape of an arrow lends itself to making it immediately visible, regardless of the different conditions that may generate this quantity (...).

Graphic representation by an arrow (\rightarrow) makes this visible and both descriptively appropriate and operatively useful. However, in the case of graphic codification, this represents a physical quantity depicted by an oriented line segment. In its graphic-visual expression, this segment combines a graphic element of the drawing (line), which defines the oriented line segment; a graphic sign (\rightarrow), which indicates the direction in which a certain magnitude is acting; which direction (i.e. from left to right or from right to left); the length of the vector, not always to scale, seeks to show the idea that the length of the vector proportionally reflects the value of its quantity; and two letters (i.e., AB) that designate, respectively, the origin and the extremity of the vector whenever applied to physical distance.

The graphical representation serves as a kind of unveiling of concepts, allowing certain aspects that may originate from analogies to be inscribed into visual forms. This principle can be applied to scientific activity in general, enabling concepts to be defined, communicated, and reproduced. In other words, scientific activity seeks to find visual forms that meet its needs through graphic processes.

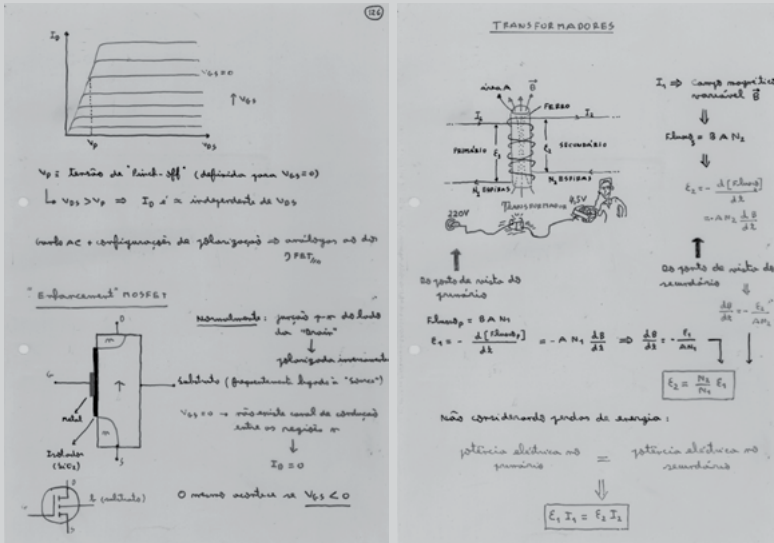


Fig. 5, 6 – Graphical annotations drawn on acetate sheets (pages 12 and 15) for presenting in a classroom context. Electronics and Instrumentation (José Luís Santos, FCUP – Department of Physics and Astronomy).

(5)

In the literature review, the reference to graphic or visual representation processes, models, and modes is prevalent in its communicative function, both in research and teaching contexts. In textbooks, journals, posters, articles, etc., when accompanied by images and drawings, are often referred to in their articulation with the text as examples. Expressions such as “the figure below”, “as shown in the diagram”, “we can see in the scheme”, etc., frequently appear without a strict criterion regarding the drawing’s type and function. Different types of drawings with distinct functions might be referred to in the same manner. The primary concern seems to be establishing a visual connection that allows achieving a cognitive result that might otherwise be challenging to attain.

(6)

Types of drawings

Drawings exhibit various formal, operative and communicative *qualities* graphically represented on a surface. They are typically linked to forms of knowledge and their applications.

Diagrams and graphs are structured and simplified forms of representation based on basic graphic-visual elements such as lines. They utilise the frontal-parallel plane (Massironi, 1982, p. 112), upon which graphic-visual relationships can be constructed, allowing for the organisation, comparison, exposition, and definition of data related to an object or a concept. These visual representations serve an instrumental purpose, aiding visualisation, and are guided by a set of rules. They greatly facilitate the visualisation and interpretation of data.

Diagrams can take on various forms of graphical presentation. Due to their specific shapes, they can be classified in several ways, such as bar diagrams, column diagrams, pie diagrams, etc. (Molina, 2005, p. 315).

Graphs can assume various forms of presentation according to the data being considered; they can be classified as column graphs, sectors, pie graphs, function graphs, etc. They can also integrate other visual representations. Infographics combine different visual and graphic resources, including maps, diagrams, photographs, charts, etc., to present information (Tufte, 1997).

Diagramming (Graham, 2021, p.35) is the process of arranging all the elements of a content graphically for visualisation. It follows a dynamic approach based on objective and functional criteria. *Diagramming* allows for a comparative interaction between the elements.

Figure – an illustrative drawing (accompanying a text), a configuration, a line or set of lines that determine a direction or delimit a space (geometric figure). It can also be something that serves as a sign or symbol of another thing (Molina, 2005, p. 314). Figures are often combined with a text or description serving the purpose of clarifying, explaining and making clear what needs to be translated into the realm of representation.

Scheme – is a figure that does not represent the exact form of objects but rather their relationships and functions. It serves as a mediating or transitional space between figures and objects. When proceeding by abstraction, the scheme becomes the way in which ideas are generated, enabling them to be applied or replicated onto objects. The term *scheme* also refers to an action that links an abstract concept with its form, its configuration aids in mediating between figures and objects (Molina, 2005, p. 553). It reduces the graphic representation of an object or concept to its most significant elements.

Sketch – the preliminary drawing or rough outline of a drawing, representing the germinal process of graphic thinking where lines come together to capture an idea. It is a very particular way of understanding, through the visibility of the trace, what we are thinking while keeping in touch with thinking itself. We can step away and return to a sketch in a continuous process of seeking what was initially intended.

Graphic annotation – brief and concise guidelines to record or represent something. It can also be understood as a task or function that aims to establish coherence between elements of a situation or problem. It uses graphic symbols related to writing, mathematical calculations, or visual representation through lines or figures (drawing). Graphic notations, when combined

with a text or description, allow for the graphical identification of key elements and their connections, bridging the gap between reading and the execution of the drawing (Massironi, 1982, p. 108).

In a broad sense, the skills required to effectively use drawing as a viable means for communication and visualisation of content depend on two key aspects. One is *representational ease*, involving the ability to interpret or produce representations and to switch between different types of representations seamlessly. Moreover, the other is *representational flexibility*, involving making appropriate choices in selecting the most suitable representations to solve problems or address learning situations (Cock, 2012).

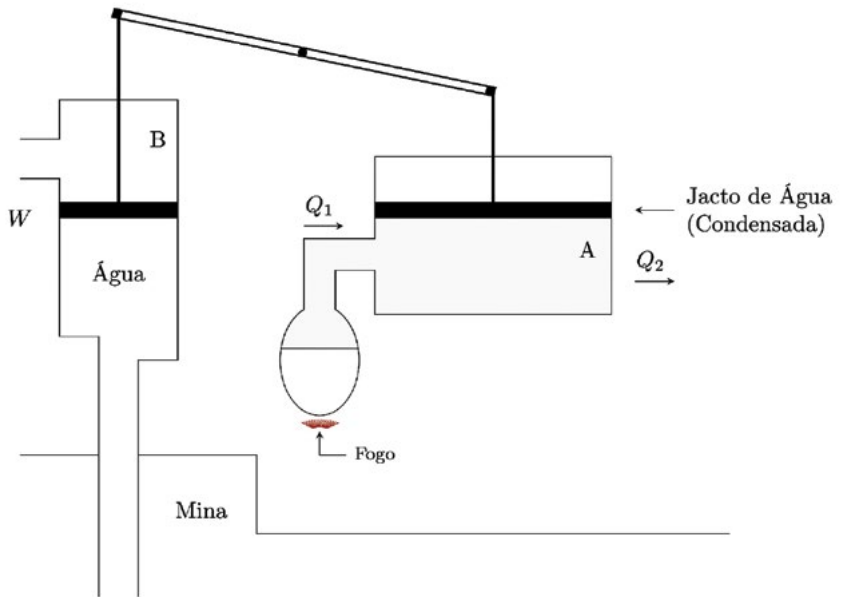
Drawing is a simple and suitable resource for the representation and communication of scientific content, particularly when dealing with concepts that are best understood through visual means.

ACKNOWLEDGMENT

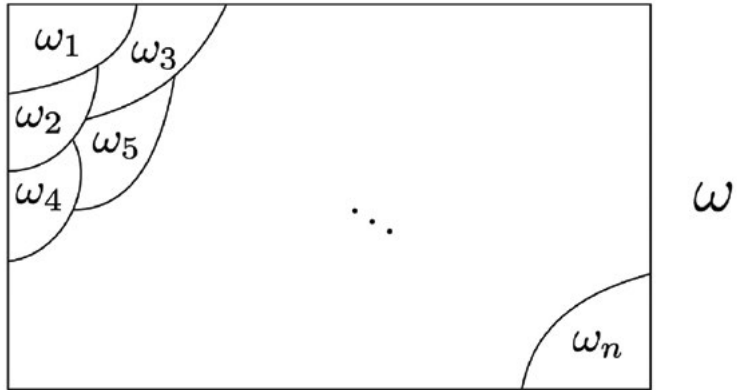
I would like to thank João Horta Belo, José Luís Santos, Miguel Costa and Orfeu Bertolami, professors and researchers of the Department of Physics and Astronomy of the University of Porto.

References

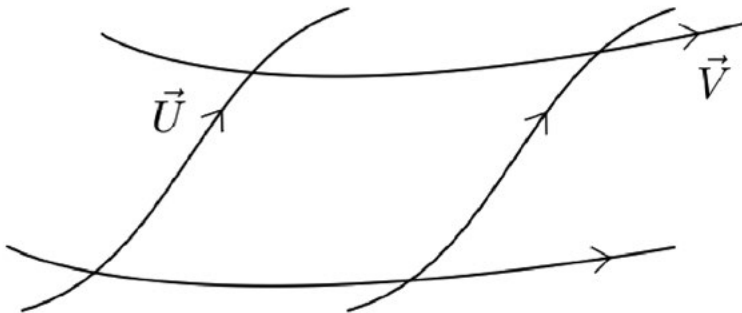
- Ainsworth, S., Prain, V., Tytler, R. (2011). *Drawing to Learn in Science*. Science. New York, N.Y.
- Clemens, M., *Interactive and Visual Representation: Visualizing Complex Systems Science (CSS)*. [Accessible at: <https://necsi.edu/visualizing-complex-systems-science> (05.11.2022)]
- Chen, Z., GLADDING, G. (2014). How to Make a Good Animation: A Grounded Cognition Model of How Visual Representation Design Affects the Construction of Abstract Physics Knowledge. In *Physical Review Special Topics - Physics Education Research*, 10 (1).
- Cheng, P. C-H. (1996). Problem solving and learning with diagrammatic representations in physics. In, *Forms of Representation. An interdisciplinary theme for Cognitive Science*. Ed. by D. Peterson. Exeter: Intellect Books.
- De Cock, M. (2012). Representation use and strategy choice in physics problem solving. In *Physical Review Special Topics - Physics Education Research* 8, 020117 – Published 15 November, 2012.
- Eco, H., (2005). *Dizer quase a mesma coisa - sobre a tradução*. Lisboa, Ed. Difel.
- Evagorou, M., Erduran, S.; Mäntylä, T. (2015). The role of visual representations in scientific practices: from conceptual understanding and knowledge generation to 'seeing' how science works. In *IJ STEM Ed* 2, 11.
- Graham, J. (2021). *The Being of Drawing*. London: Marmalade, Publishers of Visual Theory.
- Lemons, D. S. (2017). *Drawing Physics: 2.600 Years of Discovery from Thales to Higgs*. Cambridge (MA): The MIT Press.
- Massironi, M. (1982). *Ver pelo Desenho - aspectos técnicos, cognitivos, comunicativos*. Lisboa: Edições 70, Colecção Arte e comunicação.
- Molina, J. J., Cabezas, Cópou, M. (2005). *Los Nombres del Dibujo*. Madrid: Ed. Cátedra.
- Pombo, O., Marco, S., org. (2010). *As imagens com que a ciência se faz*. Lisboa: Fim de Século Edições.
- Suyatna, A. et al (2017). *The role of visual representation in physics learning: dynamic versus static visualization*. *J. Phys.: Conf. Ser.* 909012048.
- Tufte, E. R. (1997). *Visual Explanations: images and quantities, evidence and narrative*. Cheshire, Connecticut: Graphics Press.
- Wu, S. P. W., Rau, M. A. (2019). *How Students Learn Content in Science, Technology, Engineering, and Mathematics (STEM) Through Drawing Activities*. *Educational Psychology Review*, 31(1), pp. 87–120.



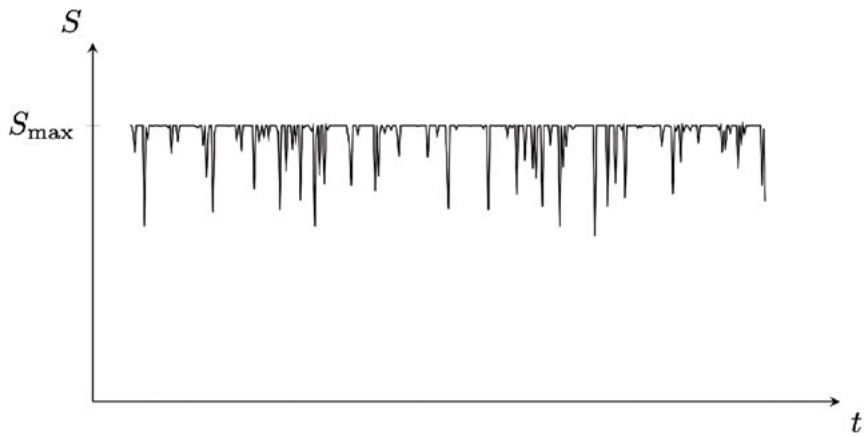
- 1 *Esquema da máquina a vapor de Newcomen*
/ Scheme of the Newcomen steam engine
 Orfeu Bertolami, 1991-2021
 Desenho digital / Digital drawing
 Fundamentos de Termodinâmica e Mecânica Estatística
 / Fundamentals of Thermodynamics and Statistical Mechanics, FCUP



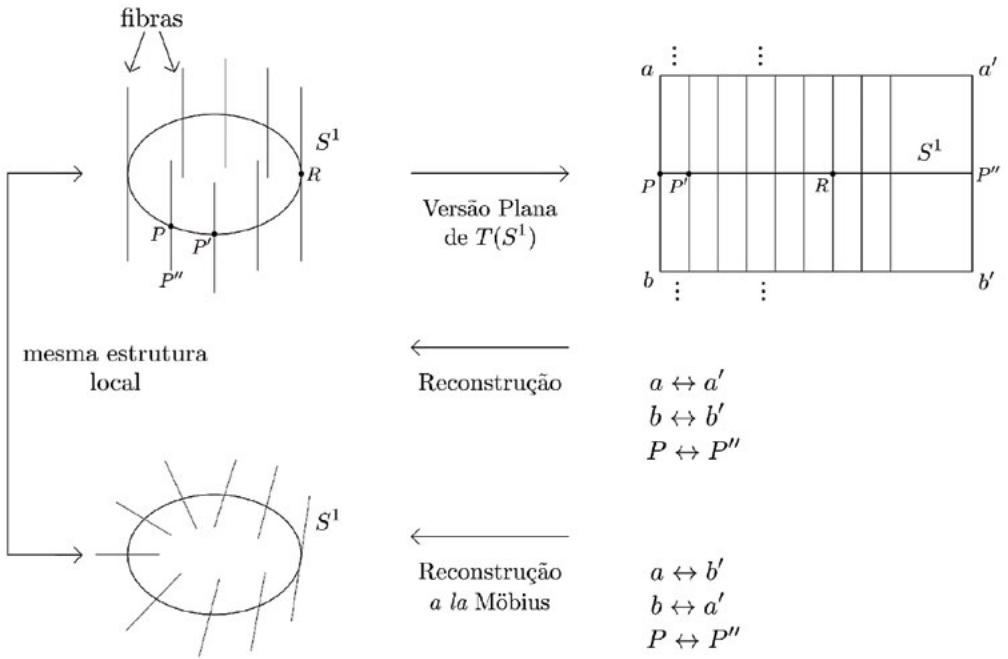
- 2 *Representação de sub-elementos ω_i no espaço de fase do sistema*
 / *Representation of ω_i sub-elements in the phase space of the system*
 Orfeu Bertolami, 1991-2021
 Desenho digital / Digital drawing
 Fundamentos de Termodinâmica e Mecânica Estatística
 / Fundamentals of Thermodynamics and Statistical Mechanics, FCUP



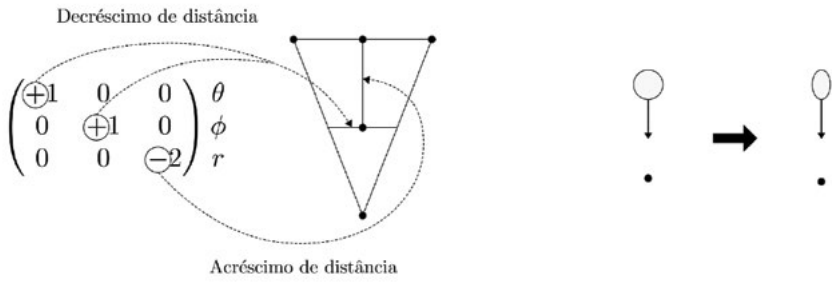
- 3 *Curvas integrais correspondentes aos campos vectoriais U^α e V^α*
 / *Integral curves corresponding to the vector fields U^α and V^α*
 Orfeu Bertolami, 1991-2021
 Desenho digital / Digital drawing
 Introdução à Relatividade Geral / Introduction to General Relativity, FCUP



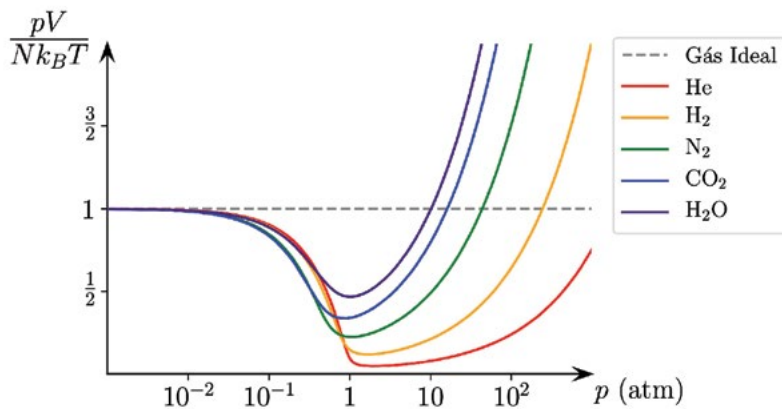
- 4 *Flutuações estatísticas da Entropia em função do tempo*
/ Statistical fluctuations of Entropy as a function of time
Orfeu Bertolami, 1991-2021
Desenho digital / Digital drawing
Fundamentos de Termodinâmica e Mecânica Estatística
/ Fundamentals of Thermodynamics and Statistical Mechanics, FCUP



- 5 *Representação esquemática do fibrado tangente ao círculo, $T(S^1)$*
/ Schematic representation of the bundle tangent to the circle, $T(S^1)$
 Orfeu Bertolami, 1991-2021
 Desenho digital / Digital drawing
 Introdução à Relatividade Geral / Introduction to General Relativity, FCUP



- 6 *Representação da existência das marés por ação do gradiente do campo gravitacional / Representation of the existence of the tides by action of the gravitational field gradient*
 Orfeu Bertolami, 1991-2021
 Desenho digital / Digital drawing
 Introdução à Relatividade Geral / Introduction to General Relativity, FCUP



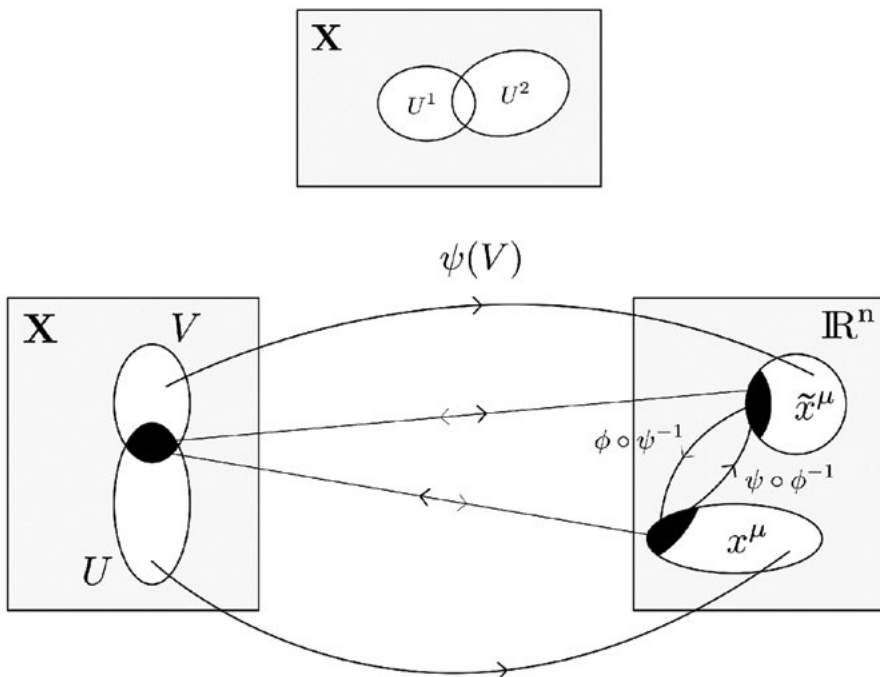
- 7 *Representação da equação de van der Waals para gases reais a diferentes temperaturas (inferiores e superiores à temperatura de transição, T_c)*
 / *Representation of the van der Waals equation for real gases at different temperatures (below and above the transition temperature, T_c)*

Orfeu Bertolami, 1991-2021

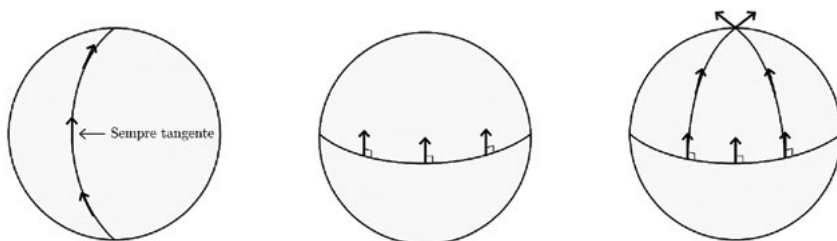
Desenho digital / Digital drawing

Fundamentos de Termodinâmica e Mecânica Estatística

/ Fundamentals of Thermodynamics and Statistical Mechanics, FCUP



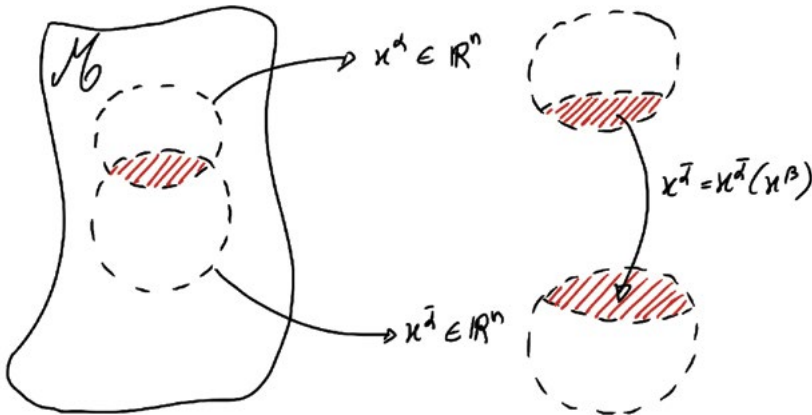
- 8 *Representação da intersecção de duas regiões que estão relacionadas diferencialmente*
 / *Representation of the intersection of two regions that are differentially related, (set.1991)*
 Orfeu Bertolami, 2021
 Desenho digital / Digital drawing
 Introdução à Relatividade Geral / Introduction to General Relativity, FCUP



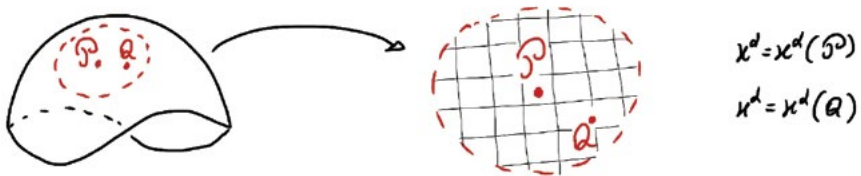
- 9 *Exemplos de transporte paralelo numa superfície bidimensional ao longo de diferentes caminhos*
 / *Examples of parallel transport on a two-dimensional surface along different paths*
 Orfeu Bertolami, 1991-2021
 Desenho digital / Digital drawing
 Introdução à Relatividade Geral / Introduction to General Relativity, FCUP



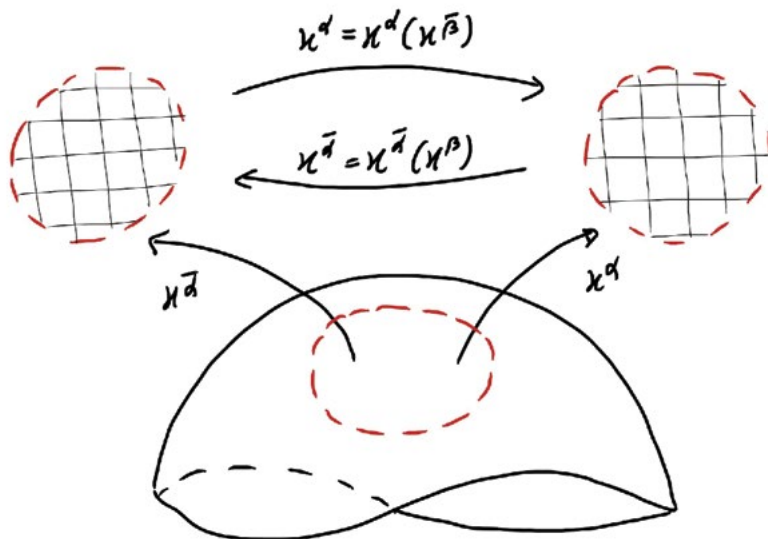
- 10 *Ilustração de um vector (esquerda), espaço tangente (meio) e campo vectorial (direita)*
/ Illustration of a vector (left), tangent space (middle) and vector field (right)
 Miguel Costa, 2019
 Desenho digital / Digital drawing
 Relatividade Geral, Mestrado de Física
 / General Relativity, Master's Degree in Physics, FCUP



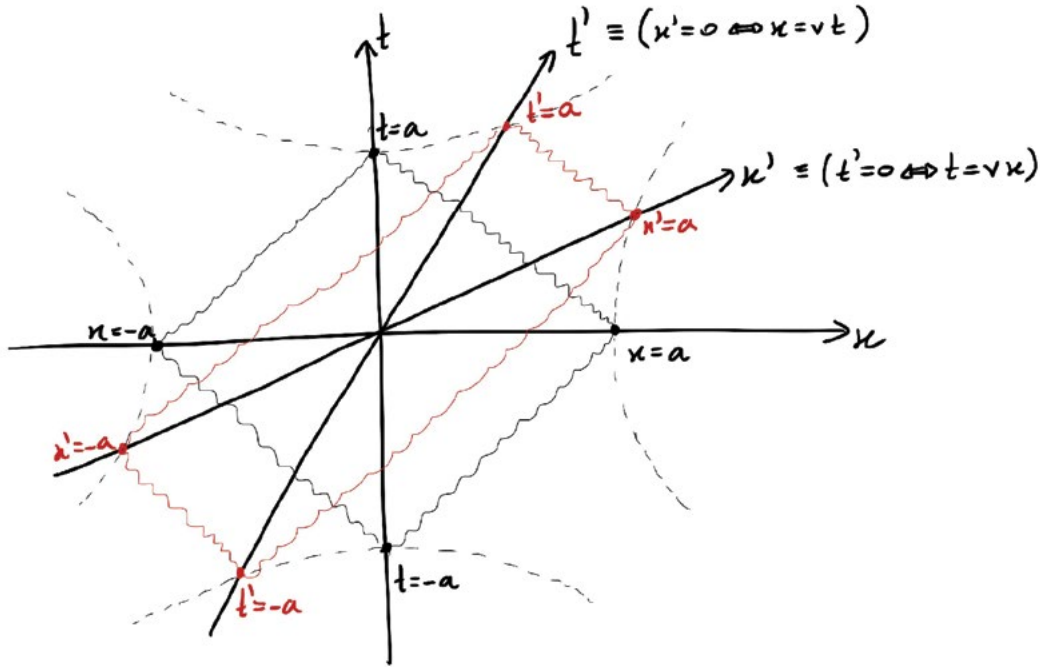
- 11 *Diferentes sistemas coordenados na variedade M*
/ Distinct coordinate systems in M
 Miguel Costa, 2019
 Desenho digital / Digital drawing
 Relatividade Geral, Mestrado de Física
 / General Relativity, Master's Degree in Physics, FCUP



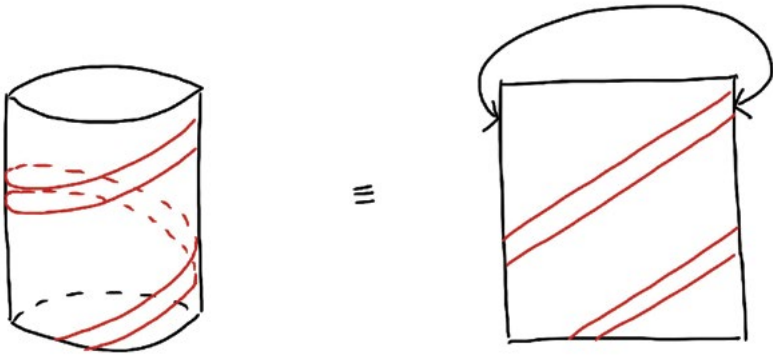
- 12 *Representação esquemática de uma variedade M - é possível estabelecer um mapa 1-1 entre qualquer conjunto aberto em M para o espaço Euclidiano / Schematic representation of a manifold M - it is possible to define a 1-1 map from an open set in M to Euclidean space*
 Miguel Costa, 2019
 Desenho digital / Digital drawing
 Relatividade Geral, Mestrado de Física
 / General Relativity, Master's Degree in Physics, FCUP



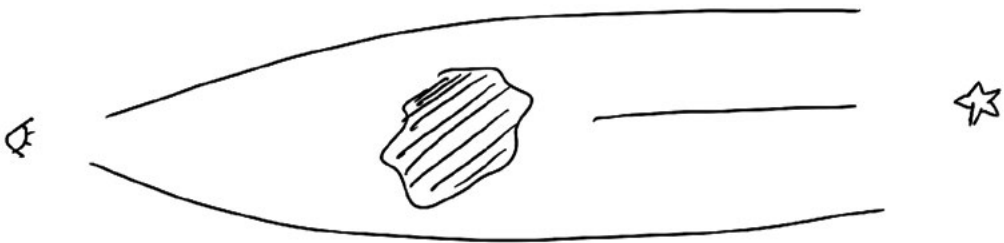
- 13 *Ilustração da lei de transformação de coordenadas entre sistemas coordenadas / Illustration of the coordinate transformation between coordinate systems*
 Miguel Costa, 2019
 Desenho digital / Digital drawing
 Relatividade Geral, Mestrado de Física
 / General Relativity, Master's Degree in Physics, FCUP



- 14 *Representação dos eixos de coordenadas do observador O' no diagrama de espaço-tempo do observador O / Representation of the coordinate axes of an observer O' in the space-time diagram of observer O*
 Miguel Costa, 2019
 Desenho digital / Digital drawing
 Relatividade Geral, Mestrado de Física
 / General Relativity, Master's Degree in Physics, FCUP

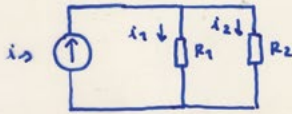


- 15 *Linhas paralelas num cilindro / Parallel lines in a cylinder*
 Miguel Costa, 2019
 Desenho digital / Digital drawing
 Relatividade Geral, Mestrado de Física
 / General Relativity, Master's Degree in Physics, FCUP



- 16 *Lente gravitacional devido à deflexão da luz*
 / Gravitational lens due to light deflection
 Miguel Costa, 2019
 Desenho digital / Digital drawing
 Relatividade Geral, Mestrado de Física
 / General Relativity, Master's Degree in Physics, FCUP

Divisor de Corrente



$$\sqrt{P_{R_1}} = i_1 R_1 \quad ; \quad \sqrt{P_{R_2}} = i_2 R_2$$

$$\sqrt{P_{R_1}} = \sqrt{P_{R_2}} \Rightarrow i_1 R_1 = i_2 R_2$$

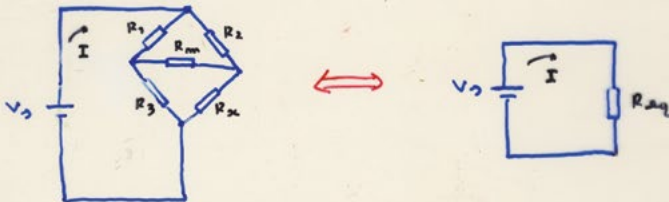
$$\text{sendo } i_s = i_1 + i_2$$



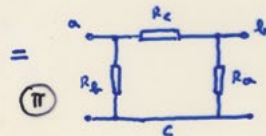
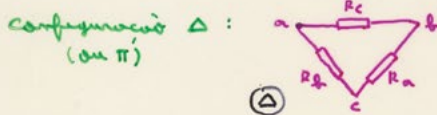
$$\begin{cases} i_1 = \frac{R_2}{R_1 + R_2} i_s \\ i_2 = \frac{R_1}{R_1 + R_2} i_s \end{cases}$$

TRANSFORMAÇÕES $\Delta \leftrightarrow Y$ (ou $\Pi \leftrightarrow T$)

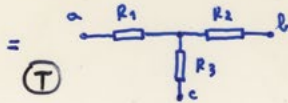
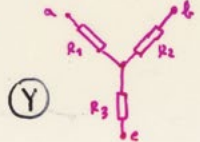
Ponta de resistência



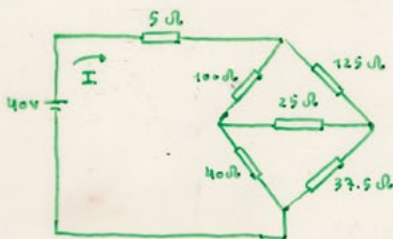
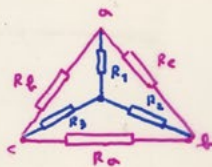
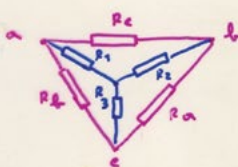
Como calcular R_{eq} ?



Configuração Y :
(ou T)



Ej.:

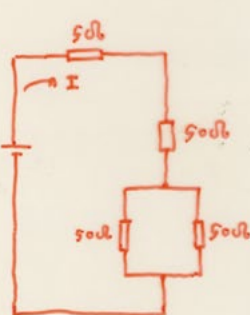
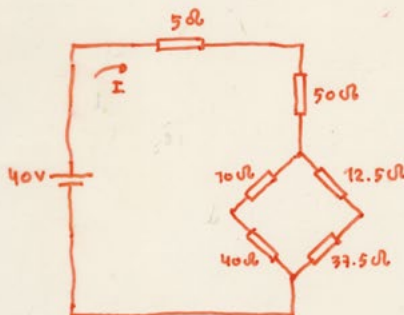
 $I = ?$ 

$$R_a = 25 \Omega$$

$$R_c = 12.5 \Omega$$

$$R_b = 100 \Omega$$

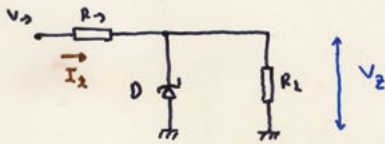
$$R_1 = \frac{100 \times 12.5}{250} = 50 \Omega ; R_2 = \frac{12.5 \times 25}{250} = 12.5 \Omega ; R_3 = \frac{100 \times 25}{250} = 100 \Omega$$



$$\leftarrow 40V \text{ source} \quad R_{eq} = 55 + \frac{50 \times 50}{100} = 80 \Omega \Rightarrow I = \frac{40V}{80 \Omega} = 0.5A$$

Regulador de tensão

O regulador mais simples é o diodo Zener

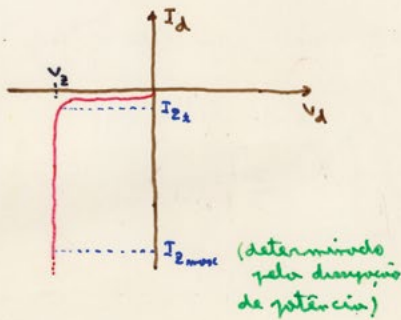


$$I_1 = \frac{V_1 - V_2}{R_1}$$

$$I_L = \frac{V_2}{R_L}$$

$$I_2 = I_1 - I_L$$

$$I_2 \in [I_{2s}, I_{2max}]$$

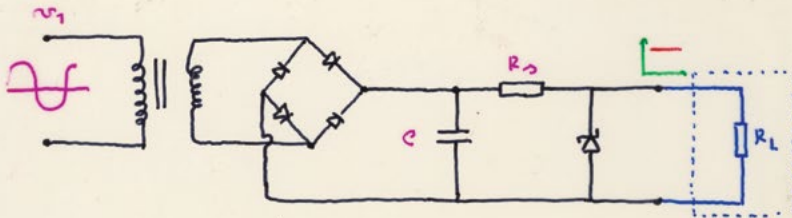


$$I_{Lmax} = I_1 - I_{2s}$$

↓

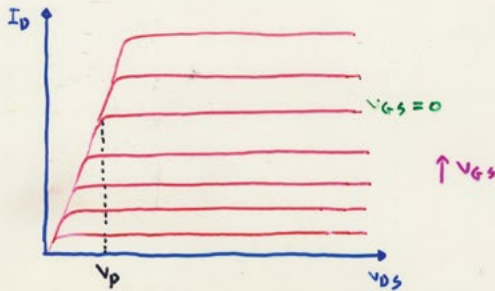
$$R_{1min} = \frac{V_2}{I_{Lmax}}$$

Configuração completa



Outras possibilidades: Diodo Zener substituído por um regulador integrado

- 19 Representação esquemática – Diodo; Geração de uma fonte de tensão contínua / Schematic representation – Diode; Generation of a DC (continuous) voltage source
Luís Santos, 2003/2004
Marcador permanente sobre acetato
/ Permanent marker on acetate sheet, 29,7 x 21 cm
Eletrónica e Instrumentação / Electronics and Instrumentation, FCUP

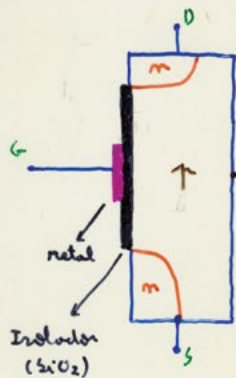


V_p \equiv tensão de "Pinch-off" (definida para $V_{GS} = 0$)

$\hookrightarrow V_{DS} > V_p \Rightarrow I_D \approx$ independente de V_{DS}

(cabo AC + configurações de polarização) \Rightarrow análogos ao do JFET_{III}

"Enhancement" MOSFET



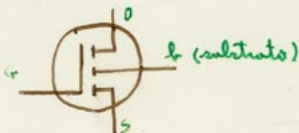
Normalmente: junção p-n do lado da "drain"
 \downarrow
 polarizada inversamente

Substrato (frequentemente ligado à "terra")

$V_{GS} = 0 \rightarrow$ não existe canal de condução entre as regiões n

\downarrow
 $I_D = 0$

O mesmo acontece se $V_{GS} < 0$



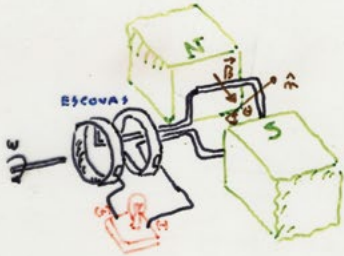
- 20 Representação esquemática - Corrente na drain em função da tensão de gate e de drain;
 Representação esquemática de um transistor / Schematic representation - Drain current
 as a function of gate and drain voltage; Schematic representation of a transistor
 Luís Santos, 2003/2004

Marcador permanente sobre acetato

/ Permanent marker on acetate sheet, 29,7 x 21 cm

Eletrónica e Instrumentação / Electronics and Instrumentation, FCUP

GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA



Fluxo magnético através da espira:

$$\Phi = BA \cos \theta$$

$$\theta = \omega t + \alpha$$



$$\begin{aligned} \mathcal{E} &\equiv \text{Força Electromotriz} = \\ &= - \frac{d\Phi}{dt} = \underline{BA\omega \sin(\omega t + \alpha)} \end{aligned}$$

Força electromotriz \Rightarrow cargas movem-se \Leftarrow desde que exista um percurso fechado

↓

Energia eléctrica

$\mathcal{E} \rightarrow$ energia eléctrica comunicada à unidade de carga que dá uma volta completa no circuito

$$\left(\frac{J}{C} \equiv V\right)$$

Dois espiros em paralelo $\Rightarrow \mathcal{E} \rightarrow 2\mathcal{E}$; N espiros $\Rightarrow \mathcal{E} \rightarrow N\mathcal{E}$

Existindo só momento motor $M_m \Rightarrow \alpha$ (aceleração angular) $= \frac{\tau_m}{I}$

$\Rightarrow \omega = \int \alpha dt$ aumentaria $\Rightarrow K$ (energia de rotação) $= \frac{1}{2} I \omega^2$ momento de inércia

$\mathcal{E} \rightarrow$ corrente eléctrica \Rightarrow campo magnético \Rightarrow fluxos magnéticos de sentido oposto à variação de fluxos originada pela rotação

momento resistente (M_e) \Leftarrow

Em equilíbrio: $M_m = M_e \Rightarrow \omega = \omega_0$ (para B, A e N fixos)

*Desenhar para visualizar
na matemática*

Helena Mena Matos, Vasco Cardoso

“A matemática, como criação humana e cultural, lidando com objetos e entidades bastante diferentes do fenómeno físico (...), depende muito (...) da visualização nas suas diferentes formas e a diferentes níveis, muito além do óbvio campo visual da geometria e da visualização espacial”

Arcavi

Conceitos, resultados e métodos matemáticos são mentalmente apreendidos de muitas formas diferentes, dando lugar a representações visuais muito diversas de informação figurativa ou não figurativa e de relações abstratas. Os matemáticos têm uma variedade de imagens mentais de natureza intuitiva, para entender e manipular conceitos e métodos na área específica em que trabalham. Essas imagens ajudam-nos a lidar com factos e resultados frequentemente muito abstratos e complexos. Como muito bem apontou Massironi (1989, p. 17) “... os pesquisadores de quase todas as disciplinas que, chegados a determinados limites nos próprios conhecimentos expressos pela palavra, encontram com um sinal não verbal a possibilidade de irem mais além...”

Sendo a percepção humana fortemente visual, não é inesperado que o recurso visual esteja tão presente na matemática, não só em áreas como a geometria, abordando conteúdo espacial, mas também em áreas mais abstratas em que são frequentemente usados esquemas e diagramas, envolvendo a imaginação, para ajudar a lidar com a abstração. O uso do desenho (no seu sentido mais lato) é, sem dúvida, importante nos diferentes contextos da atividade matemática, seja na investigação, no ensino ou na comunicação.

O desenho e a prova matemática

No ensino superior e na investigação, a prova desempenha um papel primordial na matemática. Uma prova matemática é uma demonstração lógica de que uma afirmação é verdadeira. Partindo de um facto conhecido (ou de uma suposição que se presume ser verdadeira) é realizada uma sequência de deduções, cada uma obtida logicamente da anterior e culminando na afirmação desejada. Matemáticos contemporâneos formulam conjecturas envolvendo conceitos abstratos que devem ser depois suportados pela prova. Como Steven Krantz (2007) escreveu:

A característica identitária e diferenciadora da matemática relativamente às outras ciências, à filosofia e, de facto, a todas as outras formas de discurso intelectual, é o uso da prova rigorosa. É o conceito de prova que torna o assunto coeso, que lhe confere sua intemporalidade e universalidade. (p. 1)

No percurso histórico de depuração dos processos dedutivos levados a cabo pela matemática em busca da prova, observa-se uma gradual abstracção realizada a partir da realidade. Consequentemente, é de entender que os processos de depuração e sedimentação do conhecimento tenham arrancado no seio do exercício de práticas, nomeadamente profissionais, e convergido durante o tempo para a construção

de teorias gerais, de uma sistematização científica. Veja-se o caso da teoria geométrica sobre o Desenho (Santo, 1984):

...muitas das projecções não surgiram historicamente como tal, mas sim como processos ou métodos, mais ou menos simplificados ou sistematizados, de traçado ou execução, com vista a facilitar os desenhadores ou artistas. Apenas posteriormente, com o desenvolvimento da Geometria, (...), é que «as peças foram sendo juntadas» num todo coerente, e que se pôde identificar processos de execução existentes com os tipos de projecção a que correspondiam. (pp. 185-186)

É bem sabido que a agrimensura era uma preocupação tanto para os egípcios quanto para os gregos, e a matemática nos seus tempos primordiais estava frequentemente ligada a esses problemas geométricos práticos. Tratavam-se estes exemplos daquilo a que se chama

geometria prática ou de fábrica: geometria *fabrorum*. Neste contexto, entende-se o facto de que, na Grécia da antiguidade, uma “verdade” matemática só precisava ser justificada por uma imagem plausível e uma descrição convincente. Os gregos usavam texto e diagramas de forma interdependente para derivar muitas asserções, sendo espacial, em vez de lógico, o princípio orientador no desenvolvimento da prova (Netz 1999, pp. 27-30). Os diagramas eram frequentemente esquemáticos representando as características qualitativas das configurações geométricas e eram o cerne das proposições matemáticas (Netz 1999, pp. 18-35).

No entanto, com o tempo, foi acontecendo uma gradual sistematização do conhecimento, num processo de filiação ao número, à expressão exata da quantidade. O pensamento e expressão visuais foram sendo afastados da ciência. Visto a partir do campo da arte, um afastamento com sentido oposto também pôde ser detetado, algo a que Cabezas (2002) chamou “divórcio arte-ciência”. O autor apontou historicamente os escritos de Alberti sobre desenho e perspectiva como os primeiros sintomas desse divórcio. E, concluiu que “[a] racionalidade geométrica do linear estava marcada por um rumo assinalado, pelo menos desde o pensamento de Descartes.” (pp. 126-127).

O século XVII foi de atividade e inovação intensas com o desenvolvimento da álgebra simbólica e da geometria analítica, a criação do cálculo diferencial e integral e os avanços no cálculo numérico. Como apontado por Andersen (2007) “para ser realmente interessante naqueles tempos, um tópico tinha que se relacionar com as duas novas disciplinas matemáticas importantes: geometria analítica e cálculo” (p. 718).

Em 1628, René Descartes escreveu a sua primeira grande obra *Regulae ad directionem ingenii*, publicada apenas em 1701, sobre o método adequado para o pensamento científico e filosófico. É composta por vinte e uma regras, algumas delas envolvendo processos de visualização e referindo-se a diferentes papéis de imagens e figuras no pensamento matemático das quais destacamos as seguintes (Descartes [1701] 1954):

Regra XIV: O problema deve ser re-expresso em termos da extensão real dos corpos e deve ser retratado na nossa imaginação inteiramente por meio de figuras simples. Assim será percebido muito mais distintamente pelo nosso intelecto.

Regra XV: Geralmente é útil desenhar estas figuras e exibi-las diante dos nossos sentidos externos. Deste modo será mais fácil mantermos a nossa mente alerta.

Regra XVI: Quanto às coisas que não requerem a atenção imediata da mente, por mais necessárias que sejam para a conclusão, é melhor representá-las por símbolos concisos do que por figuras completas. Assim, será impossível que a nossa memória se engane, e a nossa mente não se distrairá por ter que retê-las enquanto se ocupa com a dedução de outros assuntos.

Naquela época, a interação entre imagem e uma nova prática algébrica era comum na atividade matemática.

No século XIX, o desenvolvimento da matemática rigorosa e formal levou os matemáticos a excluir as ferramentas visuais em favor de uma abordagem linguística da matemática. O uso de desenhos era permitido no contexto da descoberta, assim como para simplificar a cognição, mas não como justificação (Mancosu, 2005). Várias citações sustentando esta ideia podem ser encontradas em Mancosu (2005), das quais destacamos a seguinte:

O apelo a uma figura não é, em geral, nem um pouco necessário. Essencialmente, facilita a compreensão das relações enunciadas no teorema e as construções aplicadas na prova. Além disso, é uma ferramenta profícua para descobrir tais relações e construções. No entanto, se não se recebe o sacrifício de tempo e esforço envolvido, pode-se omitir a figura na prova de qualquer teorema; de facto, o teorema só é verdadeiramente demonstrado se a prova for completamente independente da figura. (Pasch, 1882/1926, como citado em Mancosu, 2005, p. 14)

A construção de Weierstrass em 1872 de uma função contínua mas não derivável em todos os pontos, que confundia a visão, contribuiu certamente nessa altura para a ideia de que os matemáticos confiavam demasiadamente no pensamento visual. Vários matemáticos alegaram que os desenhos podiam ser enganadores e suspeitos e que qualquer prova deveria ser feita exclusivamente através do raciocínio lógico (Mancosu, 2005, Guzman, 2002). A verdade não estava contida na representação visual; em vez disso, só poderia ser estabelecida por meio da capacidade de raciocínio do cérebro humano. Esta mentalidade persistiu durante uma boa parte do século XX. Na literatura cientí-

fica a norma era a formalização estrita, evitando elementos visuais, e os livros didáticos universitários tendiam a seguir os mesmos critérios. O livro de Dieudonné sobre álgebra linear e geometria elementar (*Algèbre linéaire et géométrie élémentaire*, 1964), sem uma única figura, é um exemplo notável desse espírito.

Concomitantemente, é interessante verificar que, pelo outro lado, o do desenho, a ferramenta matemática é, em muitas expressões, afastada do pensamento artístico. Relembremos o “divórcio arte-ciência”: “Por volta dos primeiros anos do século XIX culmina e estabiliza uma classificação, generalizada, ainda que excessivamente esquemática, para diferenciar o “desenho artístico” do “desenho linear”, como um reconhecimento explícito da divergência de interesses entre a arte e a ciência” (Cabezas, 2002, pp. 126-128).

Mas, desde o final do século XX, a visualização na atividade matemática (ensino, investigação e publicação) tem vindo a crescer, influenciada fortemente pelo desenvolvimento de técnicas de visualização computacional. Diversas áreas da matemática têm beneficiado de imagens geradas por computador como um meio de apoio no processo de investigação, resultando em novas descobertas matemáticas que depois são lógica e consistentemente formuladas e demonstradas, uma tarefa que, por vezes, é extremamente desafiadora e intelectualmente muito exigente.

“Provas sem palavras” passaram a surgir desde 1976 em revistas como *Mathematics Magazine* e *The College Mathematics Journal*, ambas publicadas pela *Mathematical Association of America* (MAA). Não se trata verdadeiramente de provas, mas sim de figuras e diagramas que mostram porquê e como se pode iniciar o processo de demonstrar como sendo verdadeira uma determinada afirmação. A ênfase está claramente em proporcionar pistas visuais para estimular o pensamento matemático. Uma coleção de algumas dessas “provas sem palavras”, publicadas em revistas da MAA, pode ser encontrada em Nelsen (1993, 2000, 2015).

Contudo, como aponta Mancosu (2005), os padrões tradicionais de rigor não parecem ter sido perturbados por este retorno ao visual. Vários matemáticos fazem referência ao valor cognitivo das imagens visuais na matemática, mas parecem entender também que elas não satisfazem os padrões de rigor aceites como necessários para estabelecer os resultados das suas investigações.

Desenhar para visualizar

O desenho, no seu sentido mais amplo, revela-se na matemática ao concretizar a visualização. Assim, parece-nos importante articular duas perspetivas sobre visualização, oriundas das duas áreas do conhecimento aqui presentes: matemática e desenho. Da primeira, adotaremos a definição de visualização proposta por Arcavi (2003):

A visualização é a capacidade, o processo e o produto da criação, interpretação, uso de, e reflexão acerca de, desenhos, imagens, diagramas, nas nossas mentes, em papel ou com ferramentas tecnológicas, com o propósito de retratar e comunicar informação, pensar em e desenvolver ideias previamente desconhecidas e avançar no entendimento. (p. 217)

Pelo lado do Desenho, uma filiação no discurso de Massironi (1989) sobre visualização afigura-se-nos como natural, aproveitando-se o facto de o autor concluir com a relevação do papel central do desenho nesse processo:

Certas produções mentais têm a característica de só se estruturarem de maneira visiva. Estão neste caso situações em que só um raciocínio por imagens permite resolver um problema ou atingir um resultado cognoscitivo de outro modo inatingível (...). Os resultados obtidos deste modo, para serem expressos e comunicados, têm de assumir, consequentemente, uma codificação visiva. O desenho é portanto, o instrumento que habitualmente mais se adapta à transmissão deste tipo de conteúdos. (p. 133)

Existem várias formas diferentes de visualização na matemática e que podem ser classificadas segundo diversos critérios e de acordo com os fins a que se propõem atender.

Guzman (2002) considera quatro tipos de visualização na matemática, de acordo com o grau de correspondência entre a situação matemática e o modo da sua representação: *visualização isomórfica* (representações em que os elementos visuais têm uma correspondência exata com objetos e relações matemáticos); *visualização homeomórfica* (representações subjetivas, em que elementos visuais imitam suficientemente bem as relações entre objetos abstratos, incentivando a construção de imagens em processos como descoberta intuitiva, in-

investigação e prova); *visualização analógica* (substituição de objetos por outros que se relacionam de maneira análoga e cujo comportamento seja conhecido, ou tenha sido examinado de antemão); e *visualização diagramática* (em que os objetos mentais e as relações entre eles são representados através de diagramas, facilitando a visualização dos processos de pensamento).

A partir da observação de estudantes, Presmeg (2006) identificou cinco tipos de visualização, de acordo com os tipos de imagens visuais: *concreta*, *cinestésica* (de movimento físico), *dinâmica* (transformação de imagem ou movimento), *memória* (imagens de fórmulas), e *padrão* (relações puras desprovidas de detalhes concretos).

No que diz respeito ao desenvolvimento de capacidades, Bishop (1983) propôs dois tipos diferentes: (1) *Interpretação de informação figurativa* (ler, compreender e interpretar representações visuais e vocabulário espacial) (2) *Processamento visual* (tradução de relações abstratas e informação não figurativa em termos visuais e manipulação e transformação de representações e imagens visuais).

Atenta à fidelidade das representações, à tipologia das imagens, ou ao desenvolvimento de capacidades, ou, ainda, a qualquer outro aspecto igualmente importante, a visualização promove e desenvolve o raciocínio visual na matemática, ou em qualquer outra área do conhecimento. Como vimos atrás, Massironi (1989) atribuiu ao desenho a propriedade de edificação da visualização, essencialmente, porque permite o trabalho sobre modelos, modelos de execução rápida, simples e eficaz. Por outro lado, lembramos, essas virtudes do desenho fazem emergir uma outra virtude: a fixação dos vários momentos dum processo de raciocínio, permitindo, a todo o momento, o pensamento retrospectivo.

Tendo o papel do desenho na visualização como foco da nossa atenção, importa-nos destacar o seguinte: por um lado, o desenho como mobilizador de visualização de dados, no tempo e no espaço, para compreender, interpretar e reconhecer padrões, algo que advém essencialmente de uma atitude analítica – o desenho participa na exposição de dados que decorrem de ou promovem um processo dedutivo. Por outro lado, interessa-nos destacar o desenho como convocador na exploração de ideias abstratas e promotor de conjecturas - o desenho participa na construção de um processo dedutivo. No caso da matemática, esses processos ocorrem com mais importância na

busca pela prova. Assim, abordaremos estas duas faces do desenho na atividade matemática, ambas presentes nos diferentes contextos matemáticos (investigação, ensino ou comunicação) e, frequentemente, ambas utilizadas nas diferentes tarefas de um mesmo problema de investigação matemática.

Utilizaremos os desenhos recolhidos no Departamento de Matemática da Faculdade de Ciências da Universidade do Porto, constituintes do acervo do projeto de investigação “DRAWinU” financiado pela FCT, de modo a conseguirmos destacar o papel do desenho na visualização em matemática. Alocaremos a cada uma das duas instâncias por nós definidas, das imagens referidas, as que forem atinentes. Desta forma, chamaremos a este texto algumas das várias áreas de estudo do vasto campo da matemática.

Representar dados

No que respeita à visualização de dados e mais especificamente à análise de dados, o desenho ocorre amplamente na área de Estatística através de representações gráficas de informação quantitativa nas suas mais variadas formas (gráficos bivariados, gráficos de barras, histogramas, gráficos de contorno, gráficos de séries temporais...). Trata-se de uma importante ferramenta analítica com raízes profundas e com inovações recentes que exploram gráficos computacionais e tecnologias relacionadas. Uma boa visão geral da história da visualização de dados desde a Idade Média até a era moderna, com histórias representativas de marcos históricos (motivações de desenvolvimento, objetivos de comunicação, relação com o desenvolvimento, percursos, reinvenção atual) pode ser encontrada em Friendly (2015).

Nas últimas décadas assistimos à proliferação da visualização de dados por via de uma ampla gama de tratamentos gráficos e, através de uma variedade de ferramentas de *software*, foi aberta a possibilidade a organizações, académicos e ao público em geral, de explorarem dados de maneiras novas e cada vez mais criativas.

As imagens 1 e 2 foram retiradas de um relatório (setembro de 2022) entre muitos outros elaborados por Óscar Felgueiras (FCUP) durante a situação pandémica da COVID-19 em Portugal. São exemplos de representações visuais utilizadas para a análise de grandes

quantidades de dados e que têm de ser suficientemente simples e claras para serem entendidas por não especialistas em estatística. Proporcionam à classe política e ao público em geral uma visão atualizada do estado de pandemia e constituem uma componente fundamental para uma boa tomada de decisão.

Modelos matemáticos de problemas do mundo real são complexos e extremamente difíceis de resolver analiticamente e os cientistas têm-se apoiado fortemente em abordagens visuais e qualitativas na descoberta e na análise dos mesmos. A visualização de informação é um auxílio na análise e compreensão de conjuntos de dados complexos associados a esses modelos e na deteção de características interessantes dos mesmos. Os desenhos (imagens 3, 4 e 5) obtidos pelo estudante de doutoramento Simon Ranjith Jeyabalan (FCUP/CMUP) na sua investigação numérica de um modelo em Dinâmica dos Fluidos Computacional, representam o comportamento temporal das energias cinética e magnética e foram elaborados para compreender o comportamento do modelo.

Visualizar estruturas complexas é uma componente-chave em diversas áreas da matemática, tanto em áreas fundamentais como em mais aplicadas. Desenhar grafos, mapas, diagramas, etc., que sejam simples e de fácil leitura e compreensão é um passo comum para ultrapassar dificuldades de visualização. Os resultados visuais de tais desenhos não aspiram a evocar a realidade tangível.

O desenho de grafos aborda o problema de construção de representações visuais de estruturas conceptuais modeladas por grafos usadas principalmente na análise e reconhecimento de padrões. Um grafo é uma estrutura abstrata utilizada para representar qualquer informação que possa ser modelada em termos de objetos e conexões entre esses objetos. Em geral, um grafo é desenhado como um conjunto de pontos – os vértices (que representam uma classe de objetos tais como indivíduos ou proteínas), ligados por segmentos de reta ou curvas – as arestas (indicadoras de ligações tais como amizades ou interações de ligação molecular). Ao nível do ensino pré-graduado muitos desenhos em teoria dos grafos podem ser realizados à mão. Mas, nas últimas décadas, o campo do desenho de grafos sofreu enormes desenvolvimentos abrangendo fundamentos topológicos e geométricos, algoritmos, sistemas de software e aplicações ao comércio, à ciência e à engenharia. Na vertente teórica, os assuntos de estudo variam des-

de características combinatórias de grafos até algoritmos geradores de imagens. Na vertente dos sistemas, diversas ferramentas para o desenho de grafos têm sido apresentadas no meio acadêmico e também com fins comerciais. Em virtude da crescente disponibilidade e diversidade de propriedades envolvendo grafos, atualmente os problemas de desenho de grafos têm vindo a tornar-se cada vez mais complexos e são tratados apenas computacionalmente.

Manuel Delgado (FCUP/CMUP) tem, como afirma, um pensamento muito visual e precisa de representações visuais mais do que raciocínio algébrico puro. Desenvolveu assim ferramentas de visualização próprias com o intuito de o ajudarem na sua investigação matemática. As imagens 6-8 são exemplos de desenhos de grafos obtidos no decurso da sua investigação na área de Semigrupos Finitos. Outros tipos de desenhos podem também ser obtidos computacionalmente usando as ferramentas desenvolvidas por Manuel Delgado, como por exemplo os desenhos 9 e 10 realizados no âmbito da sua investigação na área de Semigrupos Numéricos. Eles constituem uma ajuda numa primeira fase da sua investigação em que é feito o reconhecimento de padrões, em que se descarta problemas sem interesse, e em que são realizadas conjecturas.

Desenhar ideias e conceitos abstratos

Em diversas áreas da investigação matemática e durante o processo criativo, o desenho em parceria com a escrita simbólica é frequentemente utilizado para explorar conceitos abstratos e descobrir novas ideias de um modo muito pessoal, muitas vezes para dar forma a objetos ou relações que se visualizam com a mente. Trata-se de uma prática de representação de imagens mentais que auxilia no processo do pensamento, frequentemente através de diagramas e imagens simbólicas, que não são facilmente compartilhadas. Em geral os matemáticos referem-se a essas representações visuais não como desenhos mas antes como *rabiscos*, e frequentemente parecem envergonhar-se deles, descartando-os depois de esclarecidas as suas mentes.

Os desenhos produzidos por Samuel Lopes (FCUP/CMUP) (imagens 11 e 12) foram usados no contexto da sua prática investigativa nas áreas de Teoria da Representação e de Combinatória. Não

são representações de entidades físicas, mas sim de ideias e conceitos abstratos relacionados com explorações formais da noção de simetria.

Durante os seus estudos de pós-doutoramento (2017) como investigadora do CMUP, Nóra Szakács, trabalhando na área de Teoria de Semigrupos, usava frequentemente o desenho para retratar ideias abstratas sobre questões algorítmicas (imagens 15 e 16).

Os desenhos de Christian Lomp (FCUP/CMUP) (imagens 13 e 14), realizados no âmbito da sua prática de investigação na área de Álgebra, são também representações de ideias e conceitos abstratos, mais especificamente da multiplicação de certos elementos numa álgebra de diagramas. Os desenhos foram realizados para uma melhor perceção desta estrutura multiplicativa. A alguns diagramas, desempenhando um papel importante no estudo em questão, foram associadas letras de forma a facilitarem a passagem à prova formal dos resultados algébricos.

O estudante de doutoramento João Matias desenha frequentemente para compreender resultados enunciados algebricamente. Os desenhos foram realizados por ele com o intuito de uma melhor compreensão de teoremas da área de Dinâmica Hiperbólica (imagens 17 e 18).

Isabel Labouriau (FCUP/CMUP) faz muitos desenhos nas suas diferentes atividades matemáticas, pois, como refere, trabalha e pensa desenhando. Os desenhos foram realizados no âmbito da sua investigação na área de Sistemas Dinâmicos (Fig. 1 e 2, imagens 19, 20 e 21). Esses desenhos ajudam a compreender as alterações no comportamento matemático. Quando o sistema dinâmico é um modelo para algum fenómeno, essas alterações correspondem a resultados previstos sob diferentes condições experimentais.

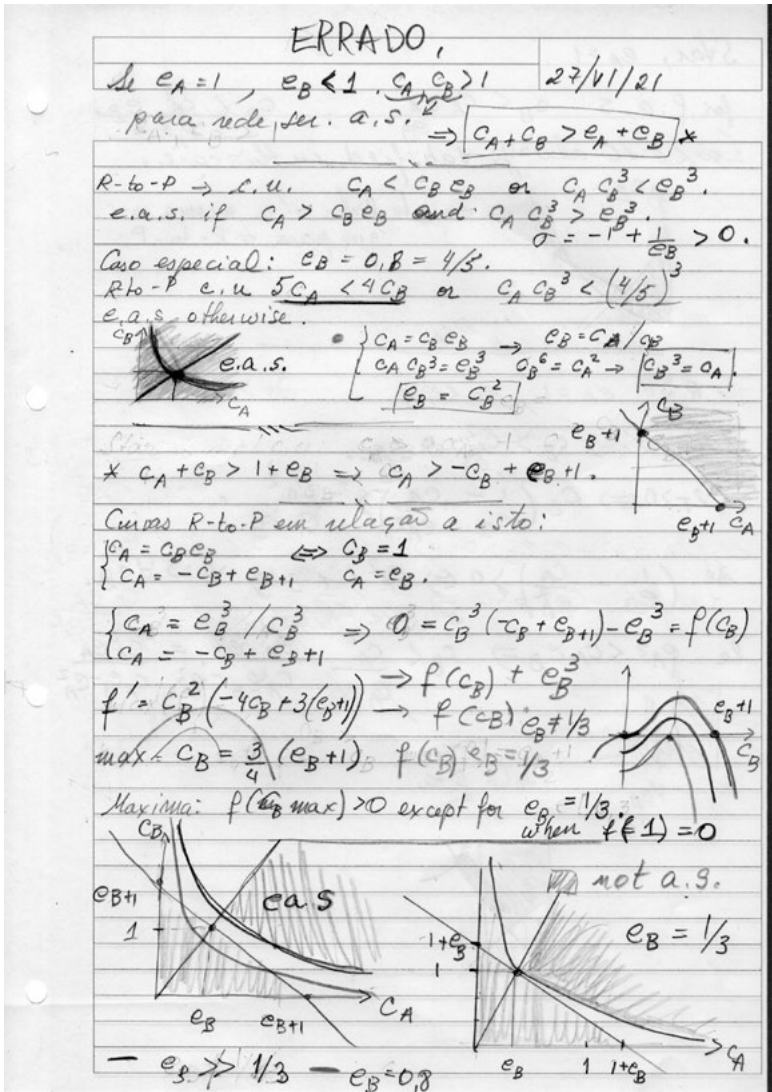


Fig. 1 - Jogos x Dinâmica. Pedra-Papel-Tesoura-Lagarto-Spock I, Isabel Labouriau, 2021.

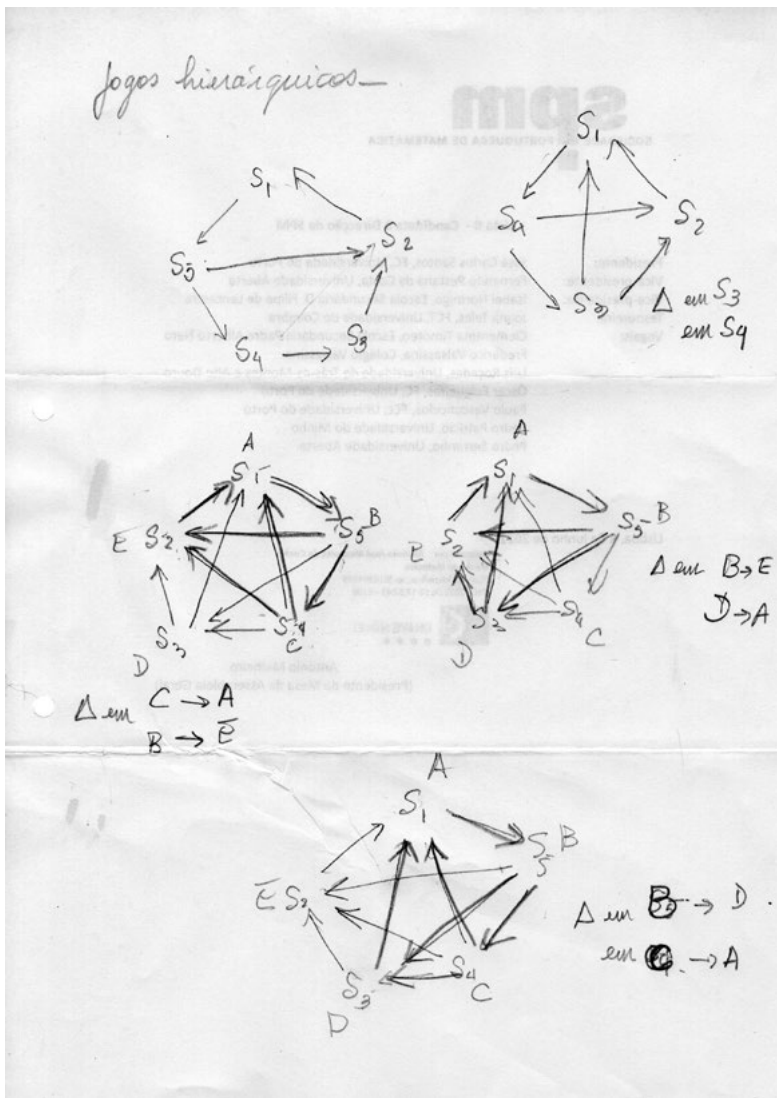


Fig. 2 - Dinâmica-População-Jogos. Jogos Hierárquicos., Isabel Labouriau, 2022.

Estabelecendo conexões

Como evidenciado, o desenho é usado de forma extremamente significativa a vários níveis na atividade matemática. Muitas vezes é o ponto de partida para o desenvolvimento de conceitos e procedimentos. Pode gerar, de muitas maneiras, desafios interessantes, e é utilizado frequentemente para fazer conexões entre os muitos objetos teóricos que, de certa forma, são extremamente difíceis de descobrir usando exclusivamente a lógica. Pode assim ser muito útil para o fomento da criatividade e intuição. Adicionalmente, o desenho desempenha um papel muito relevante ao nível da comunicação entre cientistas, tanto entre matemáticos, quanto entre equipas interdisciplinares. Neste último caso, a especificidade das linguagens das diversas áreas poderá tornar o desenho essencial na construção de uma ponte, de um lugar de entendimento entre as diversas disciplinas.

Pensar no desenho como uma linguagem, uma linguagem que pode desenvolver questões e ideias, torna possível processos colaborativos entre artistas e matemáticos, que de outra forma não seriam viáveis. A colaboração entre a artista visual Gemma Anderson e os matemáticos Buck, Coates e Corti (Anderson *et al.*, 2015), na qual as lógicas divergentes da artista e dos matemáticos são tratadas em igualdade de circunstâncias, contribuiu de forma muito significativa para definir o papel do desenho como linguagem comum entre a matemática e a arte. Aqui artista usufruiu do acesso, impossível de outra forma, a geometrias sofisticadas e da oportunidade de as explorar e alterar incorporando-as na sua compreensão da forma. Os matemáticos beneficiaram com a interpretação através de desenhos de objetos puramente conceituais com implicações tanto em termos de criatividade e intuição, como em termos de divulgação dos seus conhecimentos para um público mais geral sem ter que infantilizar, comprometer ou desvirtuar as suas ideias.

No mesmo espírito, a colaboração entre Devadoss e Schuh (2019), o primeiro um matemático a trabalhar num problema envolvendo espaços de árvores, motivado pela filogenética, e o segundo um artista visual, foi realizada com o matemático envolvido nos desenhos e o artista envolvido na matemática. Os resultados desse trabalho colaborativo foram um tríptico de pinturas (criadas com acrílico, grafite, aquarela e folha de metal) com foco em diferentes navegações dentro

desses espaços de árvores, bem como um novo conjunto de questões matemáticas em aberto.

Concluimos esta breve discussão sobre o uso do desenho na matemática com o muito interessante sentimento de Devadoss e Schuh (2019, p. 282):

Embora um modelo computacional fosse possível para este projeto, achamos que desenhos feitos à mão eram mais apropriados. O computador altera o modo como se interage com o objeto: Embora mais fácil de manipular e alterar, esse comportamento por si só pode conduzir a que certos aspetos sejam negligenciados. Colocar o espaço de árvores num quadro bidimensional que leva mais tempo para “renderizar” força a pessoa a desacelerar e talvez a abordá-lo de maneira diferente.

RECONHECIMENTO

Os autores do texto agradecem a todos os colegas que contribuíram para este projeto com os seus desenhos e experiência.

Referências

- Andersen, K. (2007). *The Geometry of an Art: The History of the Mathematical Theory of Perspective from Alberti to Monge*. New York: Springer.
- Anderson, G., Buck, D., Coates, T., and Corti, A. (2015) Drawing Mathematics: From Inverse Vision to the Liberation of Form. *Leonardo*, Vol. 48(5), pp. 439-448.
- Arcavi, A. (2003) The role of visual representations in the learning of mathematics. *Educational Studies in Mathematics* 52, pp. 215–241.
- Bishop, A. (1983). Space and geometry. In R. Lesh and M. Landau (Eds.), *Acquisition of mathematics concepts and processes* (pp. 175–203). New York: Academic Press.
- Cabezas, L. G. (2002). Las Máquinas de dibujar. Entre el mito de la visión objetiva y la ciencia de la representación. In J.J.G. Molina (Coord.), *Máquinas e Herramientas de Dibujo*, (pp. 83-348). Madrid: Cátedra.
- Descartes, R. (1954). *Rules for the direction of the mind* (E. Anscombe and P. Geach, Trans.). (Obra original publicada em 1701).
- Devadoss S.L. & Schuh, O. (2019). Cartography of Tree Space. *Leonardo* 52 (3), (pp. 279–283).
- Friendly, M. (2008). A Brief History of Data Visualization. In C. Chen, W. Härdle and A. Unwin (Eds.), *Handbook of Data Visualization* (pp. 15-48). Heidelberg: Springer-Verlag.
- Guzman, M. (2002) The Role of Visualization in the Teaching and Learning of Mathematical Analysis, *Proceedings of the International Conference on the Teaching of Mathematics (at the Undergraduate Level)* (2nd, Hersonissos, Crete, Greece, July 1-6, 2002).
- Krantz, S. J. (2007) The History And Concept Of Mathematical Proof. Acessível em: <https://www.eolss.net/sample-chapters/c02/E6-132-37.pdf>
- Mancosu, P. (2005). Visualization in Logic and Mathematics. In P. Mancosu, K. F. Jørgensen and S. A. Pedersen (Eds), *Visualization, Explanation and Reasoning Styles in Mathematics*. Synthese Library, vol 327. Dordrecht: Springer-Verlag.
- Massironi, M. (1989). *Ver Pelo Desenho: Aspectos Técnicos, Cognitivos, Comunicativos*. Lisboa: Edições 70.
- Nelsen, R.B. (1993). *Proofs without Words: Exercises in Visual Thinking*. Washington: The Mathematical Association of America.
- Nelsen, R.B. (2000). *Proofs without Words II: Exercises in Visual Thinking*. Washington: The Mathematical Association of America.
- Nelsen, R. B. (2015). *Proofs Without Words III: Further Exercises in Visual Thinking*. Washington: Mathematical Association of America.
- Netz, R. (1999). *The Shaping of Deduction in Greek Mathematics: A Study in Cognitive History (Ideas in Context, Series Number 51)* (1st ed.). Cambridge: Cambridge University Press.
- Presmeg, N. (2006). Research on Visualization in Learning and Teaching Mathematics. In A. Gutiérrez, & P. Boero (Eds.), *Handbook of Research on the Psychology of Mathematics Education: Past, Present and Future* (pp. 205-235). Rotterdam: Sense.
- Santo, H. P. (1984). *Métodos Gráficos e Geometrias Computacionais*, Vol.1, Conceitos Básicos. Lisboa: Dinalivro.

*Drawing to visualise
in mathematics*

Helena Mena Matos, Vasco Cardoso

“Mathematics, as a human and cultural creation dealing with objects and entities quite different from physical phenomena (...), relies heavily (...) on visualisation in its different forms and at different levels, far beyond the obviously visual field of geometry, and spatial visualisation.”

Abraham Arcavi

Mathematical concepts, results and methods are perceived by our minds in many ways, having rich, different visual representations of figurative or non-figurative information and abstract relationships. Mathematicians have a variety of mental images of an intuitive nature to understand and manipulate concepts and methods in the specific area of their work. These images help them to handle the facts and results that are frequently too abstract and complex. As Massironi (1989, p.17) very well pointed out, “researchers from almost all disciplines [...], having reached certain limits in their own knowledge expressed by the word, find with a non-verbal signal the possibility of going further”.¹

1 Our translation from the Portuguese edition.

Human perception being very strongly visual, it is not unexpected that the visual feature is so present in mathematics, not only in areas like geometry, which deal with spatial content, but also in more abstract ones where schemes and diagrams are frequently used, involving the imagination, to helping deal with abstraction. The use of drawing (in its broader sense) is undoubtedly important in the different contexts of mathematical activity, whether in research, education, or communication.

Drawing and mathematical proof

In higher education and research, the core of mathematics is the proof. A mathematical proof is a logical demonstration that a claim is true. A sequence of deductions is made, starting from a known fact (or an assumption presumed to be true), each deducing logically from the one before it and culminating in the desired statement. Contemporary mathematicians formulate conjectures regarding abstract concepts that must then be supported by proof. As Steven Krantz wrote:

The unique feature that sets mathematics apart from other sciences, from philosophy, and indeed from all other forms of intellectual discourse, is the use of rigorous proof. It is the proof concept that makes the subject cohere, that gives it its timelessness, and that enables it to travel well (Krantz, 2007, p.1).

In the historical path of debugging the deductive processes carried out in the mathematical proof, a gradual abstraction is carried out from reality. It is understandable that the processes of purification and sedimentation of knowledge have started within the exercise of practices, namely professional ones, converging over time towards the construction of general theories of scientific systematisation. See the case of the geometric theory of drawing (Santo, 1984, pp. 185-186):

Many of the projections did not arise historically as such, but as processes or methods, more or less simplified or systematized, of outline or execution, in order to aid draftsmen or artists. It was only later, with the development of Geometry, (...), that «the pieces were being put together» in a coherent whole, and that existing execution processes could be identified with the types of projection to which they corresponded.²

It is well known that land surveying was a concern for both the Egyptians and the Greeks, and mathematics in its early times was frequently connected with those practical geometrical problems. These were examples of what is called *geometria fabrorum*, or practical geometry. Thus, in the context outlined above, in ancient Greece, a mathematical “truth” only needed to be justified by a plausible picture and a convincing description. The Greeks interdependently used text and diagrams to derive many assertions, and the guiding principle in the development of proof was spatial rather than logical (Netz 1999, pp. 27, 30). Diagrams were often schematic, representing the qualitative features of the geometrical configurations and were the core of the mathematical propositions (Netz 1999, pp.18, 35).

However, knowledge gradually became systematized over time through a process of affiliation to number, to the precise statement of quantity. Visual thought and expression were being pushed away from science. In the Arts a trend in the opposite direction could also be detected, something that Cabezas (2002, pp. 126, 128) called *art-science divorce*. The author identified the first signs of this separation historically in Alberti’s essays on perspective and drawing and concluded that “the geometric rationality of the linear was marked by a course established, at least, since the thought of Descartes”.³

The seventeenth century was one of intense activity and innovation with the development of symbolic algebra and analytic geometry, the invention of the differential and integral calculus and the advances in numerical calculation. As pointed out by Andersen, “to be really interesting in those days, a topic had to relate to the two new important mathematical disciplines: analytical geometry and calculus” (2007, p. 718).

2 Our translation from the Portuguese original.

3 Our translation from the Spanish original.

By 1628, René Descartes wrote his first major work, *Rules for the Direction of the Mind* (*Regulae ad directionem ingenii*), not published until 1701, regarding the proper method for scientific and philosophical thinking. It consists of twenty-one rules, some of them involving visualisation processes and referring to different roles of images and figures in mathematical thinking, of which we highlight the following (Descartes 1701/1954):

Rule XIV: *The problem should be re-expressed in terms of the real extension of bodies and should be pictured in our imagination entirely by means of bare figures. Thus it will be perceived much more distinctly by our intellect.*

Rule XV: *It is generally helpful if we draw these figures and display them before our external senses. In this way it will be easier for us to keep our mind alert.*

Rule XVI: *As for things which do not require the immediate attention of the mind, however necessary they may be for the conclusion, it is better to represent them by concise symbols rather than by complete figures, - It will thus be impossible for our memory to go wrong, and our mind will not be distracted by having to retain these while it is taken up with deducing other matters.*

At that time, the interplay between image and a new algebraic practice was common in mathematical activity.

In the 19th century, the development of rigorous and formal mathematics led mathematicians to exclude visual tools in favour of a linguistic development of mathematics. The use of drawings was allowed in the context of discovery and to simplify cognition but not as justification (Mancosu, 2005). Several quotes supporting this idea can be found in Mancosu, from which we highlight the following:

For the appeal to a figure is, in general, not at all necessary. It does facilitate essentially the grasp of the relations stated in the theorem and the constructions applied in the proof. Moreover, it is a fruitful tool to discover such relationships and constructions. However, if one is not afraid of the sacrifice of time and effort involved, then one can omit the figure in the proof of any theorem; indeed, the theorem is only truly demonstrated if the proof is completely independent of the figure (Pascch, 1882/1926, as cited in Mancosu 2005, p. 14).

The construction of Weierstrass in 1872, of a continuous nowhere differentiable function that deceived the eye, certainly contributed to the idea that mathematicians relied too much on visual thinking. Various mathematicians pointed out that drawings could be misleading and suspicious and that any proof should be made exclusively through logical reasoning (Mancosu 2005, Guzman 2002). The truth was not contained in the visual representation; rather, it could only be established through the human brain's reasoning skills. This mindset persisted for a good part of the twentieth century. In scientific literature, the norm was the strict formalisation, avoiding visual elements and university textbooks tended to follow the same criteria. Dieudonné's textbook on linear algebra and elementary geometry (*Algèbre linéaire et géométrie élémentaire*, 1964) without a single figure is a notable example of this mindset.

It is worth noting that, at the same time, on the side of drawing, the mathematical tool is, in many expressions, far removed from artistic thinking. Remember the *science-art divorce* (Cabezas, 2002, pp.126-128): "Around the first years of the 19th century, a generalized but excessively schematic classification culminates and stabilizes, to differentiate «artistic drawing» from «linear drawing», as an explicit recognition of the divergence of interests between art and science".⁴

But since the late 20th century, visualisation in mathematical activity (education, research, and publishing) has been growing influenced greatly by the development of computational visualisation techniques. Several areas of mathematics have benefited from computer-generated images to aid in the process of mathematical research, resulting in new mathematical discoveries that are then logically and consistently formulated and proven, a task that is sometimes very challenging and demands serious intellectual efforts.

4 Our translation from the Spanish original.

Proofs without words began to appear in 1976 in journals such as *Mathematics Magazine* and *The College Mathematics Journal*, both published by the Mathematical Association of America (MAA). These are not truly proofs but rather figures and diagrams that show the observer why and how one may start the process of demonstrating a certain claim to be true. The emphasis is clearly on giving the observer visual clues to stimulate mathematical thought. A collection of some of these “proofs without words” that have been printed in journals of the MAA can be found in Nelsen (1993, 2000, 2015).

However, as Mancosu (2005) points out, the traditional standards of rigour do not appear to be disturbed by this return of the visual. Several mathematicians refer to the cognitive value of visual images in mathematics but also seem to understand that they do not meet the rigorous standards required to support the conclusions under investigation.

To draw to visualize

Drawing in the broadest sense reveals itself in mathematics by concretizing visualisation. Thus, it seems important to us to articulate two perspectives on visualisation, coming from the two current areas of knowledge: mathematics and drawing. From the first, we adopt the broader definition of visualisation proposed by Arcavi (2003):

Visualisation is the ability, the process and the product of creation, interpretation, use of and reflection upon pictures, images, diagrams, in our minds, on paper or with technological tools, with the purpose of depicting and communicating information, thinking about and developing previously unknown ideas and advancing understandings (p. 217).

Concerning drawing, we follow Massironi (1989), who emphasizes the central role of drawing in this visualisation process:

Certain mental productions have the characteristic of being structured only visibly. It is the case of situations in which only reasoning through images allows solving a problem or reaching a cognitive result that would otherwise be unattainable (...).

The results obtained in this way, to be expressed and communicated, must therefore assume a visual coding. Drawing is, therefore, the instrument that is usually best suited for conveying this type of content (1989, p. 133).⁵

The many different forms of visualisation in mathematics can be classified according to several criteria depending on the purposes they are meant to serve.

Guzman (2002) considers four types of visualisation in mathematics according to the degree of correspondence between the mathematical situation and the way of its representation: *isomorphic visualisation* (representations in which visual elements have an exact correspondence with mathematical objects and relationships); *homeomorphic visualisation* (subjective representations, in which visual elements imitate sufficiently well relationships between abstract objects, encouraging the construction of images in processes such as guessing, researching, and proving); *analogical visualisation* (substitution of objects by others that relate between themselves in an analogous way and whose behaviour is known or has been examined beforehand); and *diagrammatic visualisation* (in which mental objects and relations between them are represented with diagrams, facilitating the visualisation of thinking processes).

Based on her observations of students, Presmeg (2006) identified five types of visualisation according to visual imagery types: *concrete*, *kinaesthetic* (of physical movement), *dynamic* (image transformation or motion), *memory* (imagery of formulae), and *pattern* (pure relationships stripped of concrete details).

Concerning the development of abilities, Bishop (1983) proposed two different types: (1) *Interpreting figural information* (reading, understanding and interpreting visual representations and spatial vocabulary) and (2) *Visual processing* (translation of abstract relationships and non-figurative information into visual terms and manipulation and transformation of visual representations and visual imagery).

5 Our translation from the Portuguese edition.

By paying attention to the fidelity of representations, the typology of pictures, the development of abilities, or perhaps any other equally significant feature, visualisation encourages and develops visual thinking in mathematics or any other field of knowledge. As we saw before, Massironi (1989) ascribed to drawing the quality of edification of visualisation primarily because it allows the work on models to be executed quickly, simply, and effectively. On the other hand, we must keep in mind that these virtues of drawing also give birth to another one: the fixation of the various moments of a reasoning process, always enabling retrospective thinking.

With the role of drawing in visualisation as the focus of our attention, it is important to highlight the following. On the one hand, drawing as a mobilizer of data visualisation, in time and space, to understand, interpret and recognise patterns, something that comes essentially from an analytical attitude – drawing participating in the exposition of data resulting from or promoting a deductive process. On the other hand, drawing as a convener to explore abstract ideas and discover new ones, participating in constructing a deductive process. In the case of mathematics, these processes occur with more importance in the search for proof.

Thus, we will address these two instances of drawing in mathematical activity, present in different mathematical contexts (research, education or communication) and frequently both used in the different tasks of the same mathematical research problem.

Our approach will be based on the drawings collected at the Department of Mathematics of the Faculty of Sciences of the University of Porto, belonging to the collection of the funded research project DRAWinU. In this way, we will make reference to some of the many areas of study in the vast field of mathematics.

Depicting data

Concerning data visualisation, and more specifically, data analysis, drawing occurs widely in the area of statistics through graphic depictions of quantitative information in its many forms (bivariate plots, bar charts, histograms, contour plots, time-series graphs, etc.). It is an important analytical tool with deep roots and recent innovations exploiting computer graphics and related technologies. A nice overview of the history of data visualisation from medieval to modern times containing representative stories of the milestones (development motivation, communication goal, relation with the developments, precursors, today's reinvention) illustrated with many exemplars can be found in Friendly (2015).

In recent decades, data visualisation has proliferated into a wide range of graphic treatments, and a variety of software tools have made it possible for organisations, academics, and people to explore their data in novel and increasingly creative ways. Images 1 and 2 are taken from a report (September 2022), among many done by Óscar Felgueiras (FCUP) during the COVID-19 pandemic in Portugal. They are nice examples of visual representations used to analyse large amounts of data, and must be simple enough to be understood by non-experts in statistics. They offer policymakers and the general public insight into the current pandemic state and are a fundamental component of good decision-making.

Mathematical models of real-world problems are complex and extremely difficult to solve analytically, and scientists have relied heavily on visual and qualitative approaches to discover and analyse them. Information visualisation helps to examine and understand complex datasets in those models and to detect their interesting features. The drawings (images 3, 4 and 5) obtained by the PhD student Simon Ranjith Jeyabalan (FCUP/CMUP) in his numerical investigation of a model in computational fluid dynamics represent the temporal behaviour of the mean kinetic and magnetic energies and were produced to understand the model's behaviour.

Visualizing complex structures is a key component in many areas of fundamental and applied mathematics. Drawing graphs, charts or diagrams that are simple to read and understand is a common step to overcome visualisation difficulties. The visual results of these drawings do not aspire to evoke tangible reality.

Graph drawing addresses the problem of constructing visual representations of conceptual structures modelled by graphs and used mainly for analysing and recognising patterns. A graph is an abstract structure used to represent any information that can be modelled as objects and connections between those objects. Typically, a graph is drawn as a set of dots for the vertices (representing a class of objects such as individuals or proteins), joined by lines or curves for the edges (which indicate links such as friendships or molecular binding interactions). At the undergraduate level, many drawings in graph theory can be hand made. However, the field of graph drawing has undergone enormous developments in recent decades, covering topological and geometrical foundations, algorithms, software systems and applications in business, science and engineering. On the theoretical side, studies have ranged from graph combinatorial features to algorithms that generate images. On the systems side, several graph drawing tools have been presented in academic environment and for commercial purposes. Due to the expanding availability and diversity of node and link properties, modern graph drawing issues are becoming more and more complex and are handled only computationally.

Manuel Delgado (FCUP/CMUP) has, as he says, a very visual way of thinking and needs visual representations rather than pure algebraic reasoning. So, he developed his own visualisation tools to help him in his mathematical research. Drawings 6, 7 and 8 are nice examples of graph drawings obtained in his research in Finite Semigroups. Other types of images can also be computationally obtained using the tools Manuel Delgado developed, as for example, images 9 and 10 done within his research in Numerical Semigroups. They help him, in the first stage of his research, to recognise patterns, to discard non-interesting issues, and to conjecture.

Drawing abstract concepts and ideas

In several areas of mathematical research and during the creative process, drawing combined with symbolic writing is used frequently as a tool to explore abstract ideas and uncover new ones in a very personal way, often to give shape to objects or relationships visualised with the mind. It is a way of representing mental images that help the thinking process, frequently by diagrams and symbolic images that are not easily shared. Mathematicians refer to these visual representations as scribbles rather than drawings, often seeming ashamed of them and discarding them after clarifying their minds.

Drawings 11 and 12, produced by Samuel Lopes (FCUP/CMUP), were used for his research practice in the fields of Representation Theory and Combinatorics. They are not representations of physical entities but of abstract concepts and ideas related to formal explorations of the notion of symmetry.

During her postdoctoral studies (2017) as a researcher at CMUP, Nóra Szakács, working in the area of Semigroup Theory, often used drawings to depict abstract ideas about algorithmic questions (images 15 and 16).

Drawings 13 and 14 produced by Christian Lomp (FCUP/CMUP), carried out as part of his research in the field of Algebra, are also representations of abstract concepts and ideas, more specifically of the multiplication of certain elements in an algebra of diagrams. The drawings were made for a better intuition of this multiplicative structure. Letters were associated with some diagrams, playing an important role in the study in question, in order to facilitate the passage to the formal proof of the algebraic results.

João Matias, working on his PhD in Mathematics, frequently draws with the aim of better understanding algebraically stated results. Drawings 17 and 18 were done to assist him in grasping theorems in Hyperbolic Dynamics.

Isabel Labouriau (FCUP/CMUP) draws extensively in her different mathematical activities. As she says, she works and thinks by drawing. The drawings made within her research in the area of Dynamical Systems (Fig. 1 and 2; images 19, 20 and 21) help to understand changes in mathematical behaviour. When the dynamical system serves as a model for some phenomenon, these changes correspond to predicted outcomes under different experimental conditions.

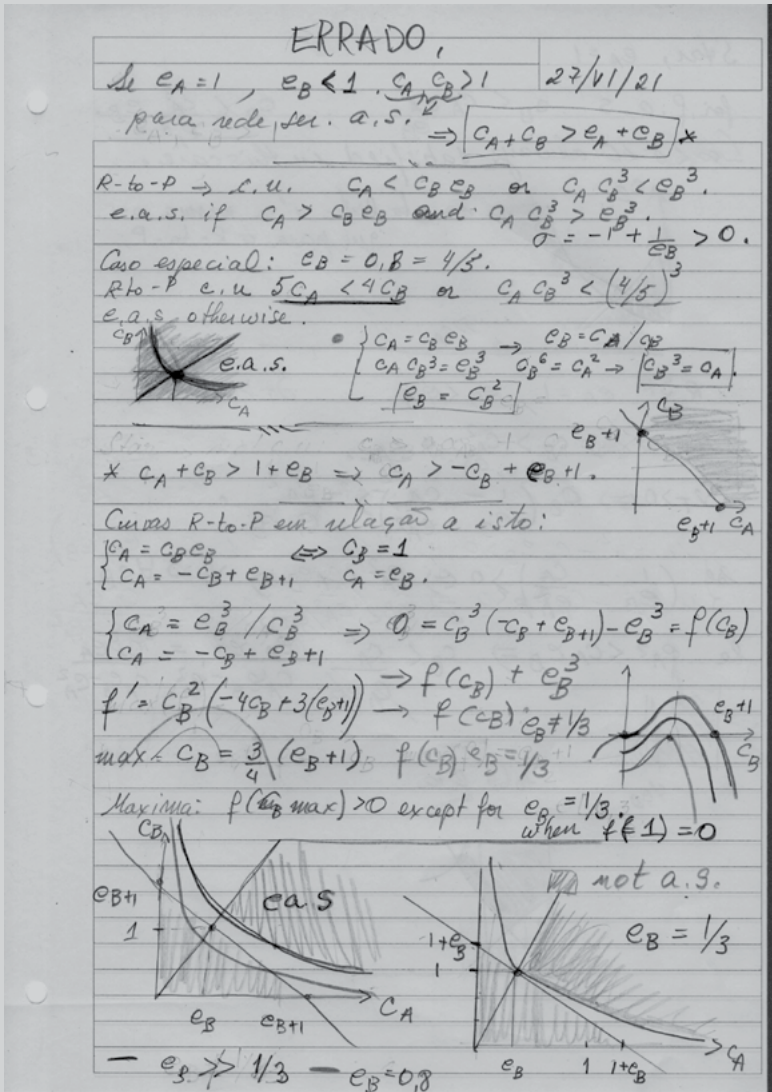


Fig. 1 - Games x Dynamics. Rock-Scissors-Paper-Lizard-Spock I, Isabel Labouriau, 2021.

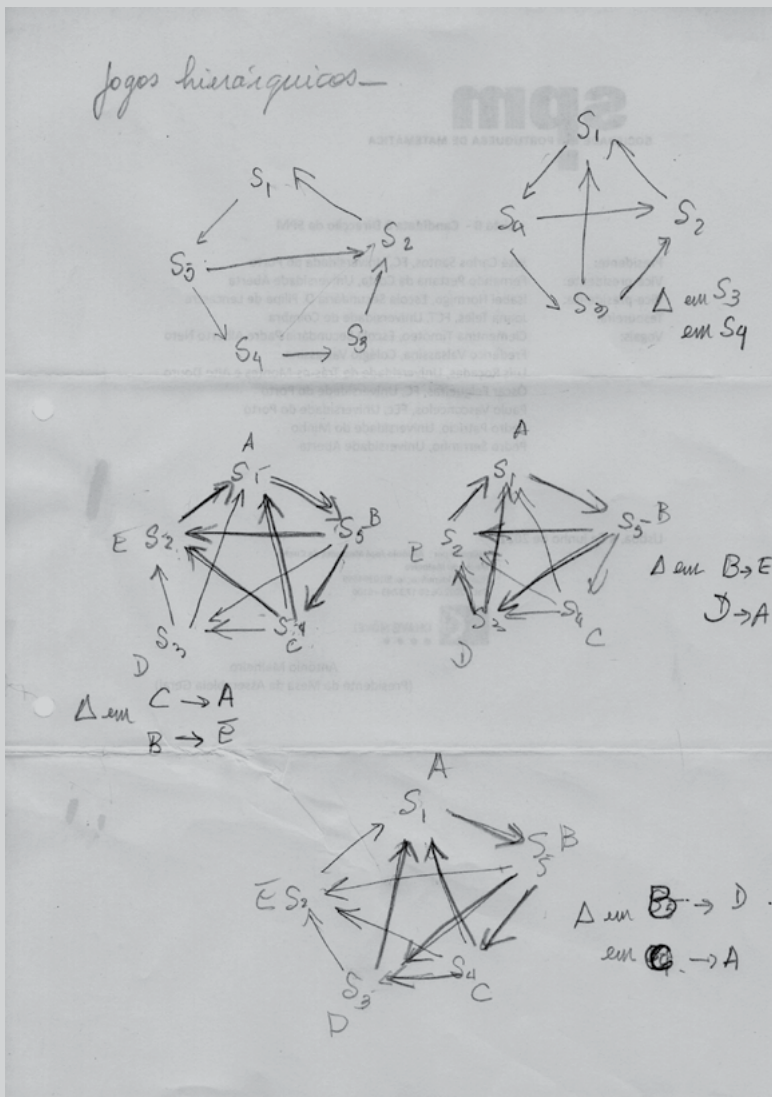


Fig. 2 – Dynamics- PopulaFon-Games. Hierarchical Games, Isabel Labouriau, 2022.

Making connections

As we saw, drawing is used in highly significant ways in various levels of mathematical activity. It is often the starting point from which conceptions and procedures develop. It can raise interesting challenges in many ways and is used frequently to make connections between the many theoretical objects that, in some ways, are extremely difficult to find purely through logic. Thus, it can be very helpful for creativity and intuition. Additionally, it plays a very important role in communication between scientists, both between mathematicians and interdisciplinary teams. In the latter case, the specificity of the languages of different areas enhances drawing's capacity to build bridges as a place of understanding between the different disciplines.

Thinking about drawing as a language – one that can articulate questions and ideas – enables collaborative processes between artists and mathematicians that would not be possible otherwise. Most notably, the collaboration between the visual artist Anderson and the mathematicians Buck, Coates and Corti (Anderson *et al.*, 2015), in which the divergent logics of the artist and the mathematicians are treated on equal terms, has most significantly contributed to defining the role of drawing as a common language between mathematics and art.

Here, the artist benefited from access to sophisticated geometries, otherwise impossible, and the opportunity to explore, alter and incorporate them into her understanding of form.

The mathematicians gained from the interpretation of purely conceptual objects in terms of drawings with implications both in terms of creativity and intuition and in terms of disseminating their knowledge to a wider audience without having to infantilise, compromise or misrepresent their ideas.

In the same spirit, the collaboration between Devadoss and Schuh (2019), the first a mathematician working on a problem involving tree spaces motivated by phylogenetics and the second a visual artist, was carried out with the mathematician involved in the drawings and the artist involved in the mathematics. The outcome of this collaborative work was a triptych of paintings (created with acrylic, graphite, watercolour, and metal leaf) focusing on different navigations within these tree spaces, as well as a new set of mathematical open questions.

We conclude our brief discussion about the use of drawing in mathematics with the very interesting belief of Devadoss and Schuh (2019):

While a computer model would have been possible for this project, we felt that drawings by hand were more appropriate. The computer changes the way one interacts with the object: Although easier to manipulate and alter, this behavior in and of itself could just as surely cause certain aspects to be overlooked. Shoehorning tree space into a two-dimensional frame that takes a longer time to “render” forces one to slow down and perhaps approach it differently (p. 282).

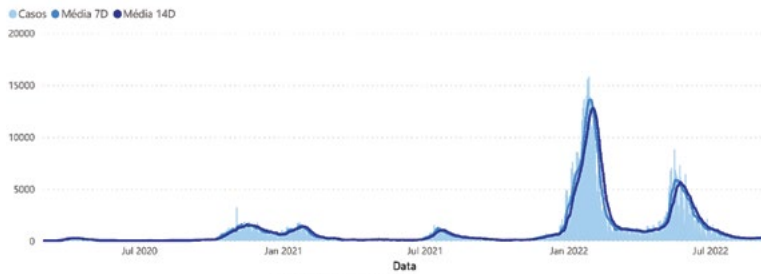
ACKNOWLEDGMENT

The authors of the text would like to thank all the colleagues who contributed to this project with their drawings and expertise.

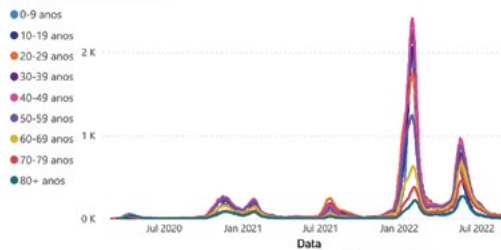
References

- Andersen, K. (2007). *The Geometry of an Art: The History of the Mathematical Theory of Perspective from Alberti to Monge*. New York: Springer.
- Anderson, G., Buck, D., Coates, T., and Corti, A. (2015) Drawing Mathematics: From Inverse Vision to the Liberation of Form. *Leonardo*, Vol. 48(5), pp. 439-448.
- Arcavi, A. (2003) The role of visual representations in the learning of mathematics. *Educational Studies in Mathematics* 52, pp. 215–241.
- Bishop, A. (1983). Space and geometry. In R. Lesh and M. Landau (Eds.), *Acquisition of mathematics concepts and processes* (pp. 175-203). New York: Academic Press.
- Cabezas, L. G. (2002). Las Máquinas de dibujar. Entre el mito de la visión objetiva y la ciencia de la representación. In J.J.G. Molina (Coord.), *Máquinas e Herramientas de Dibujo*, (pp. 83-348). Madrid: Cátedra.
- Descartes, R. (1954). *Rules for the direction of the mind* (E. Anscombe and P. Geach, Trans.). (Original work published 1701).
- Devadoss S.L. & Schuh, O. (2019). Cartography of Tree Space. *Leonardo* 52 (3), (pp. 279–283).
- Friendly, M. (2008). A Brief History of Data Visualization. In C. Chen, W. Härdle and A. Unwin (Eds.), *Handbook of Data Visualization* (pp. 15-48). Heidelberg: Springer-Verlag.
- Guzman, M. (2002) The Role of Visualization in the Teaching and Learning of Mathematical Analysis, *Proceedings of the International Conference on the Teaching of Mathematics (at the Undergraduate Level)* (2nd, Hersonissos, Crete, Greece, July 1-6, 2002).
- Krantz, S. J. (2007) The History And Concept Of Mathematical Proof. Accessible at: <https://www.eolss.net/sample-chapters/c02/E6-132-37.pdf>
- Mancosu, P. (2005). Visualization in Logic and Mathematics. In P. Mancosu, K. F. Jørgensen and S. A. Pedersen (Eds), *Visualization, Explanation and Reasoning Styles in Mathematics*. Synthese Library, vol 327. Dordrecht: Springer-Verlag.
- Massironi, M. (1989). *Ver Pelo Desenho: Aspectos Técnicos, Cognitivos, Comunicativos*. Lisboa: Edições 70.
- Nelsen, R.B. (1993). *Proofs without Words: Exercises in Visual Thinking*. Washington: The Mathematical Association of America.
- Nelsen, R.B. (2000). *Proofs without Words II: Exercises in Visual Thinking*. Washington: The Mathematical Association of America.
- Nelsen, R. B. (2015). *Proofs Without Words III: Further Exercises in Visual Thinking*. Washington: Mathematical Association of America.
- Netz, R. (1999). *The Shaping of Deduction in Greek Mathematics: A Study in Cognitive History (Ideas in Context, Series Number 51)* (1st ed.). Cambridge: Cambridge University Press.
- Presmeg, N. (2006). Research on Visualization in Learning and Teaching Mathematics. In A. Gutiérrez, & P. Boero (Eds.), *Handbook of Research on the Psychology of Mathematics Education: Past, Present and Future* (pp. 205-235). Rotterdam: Sense.
- Santo, H. P. (1984). *Métodos Gráficos e Geometrias Computacionais*, Vol.1, Conceitos Básicos. Lisboa: Dinalivro.

Casos e médias a 7 e 14 dias

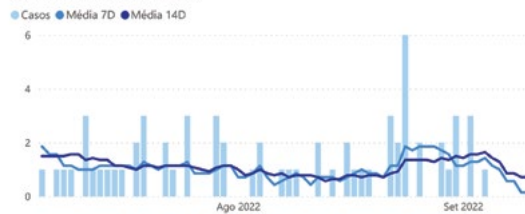


Média de casos a 14 dias

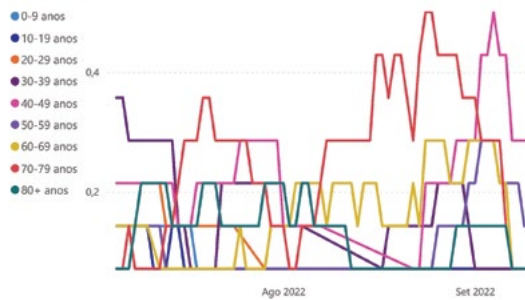


Fonte DGS Página 55 de 126

Casos e médias a 7 e 14 dias



Média de casos a 14 dias

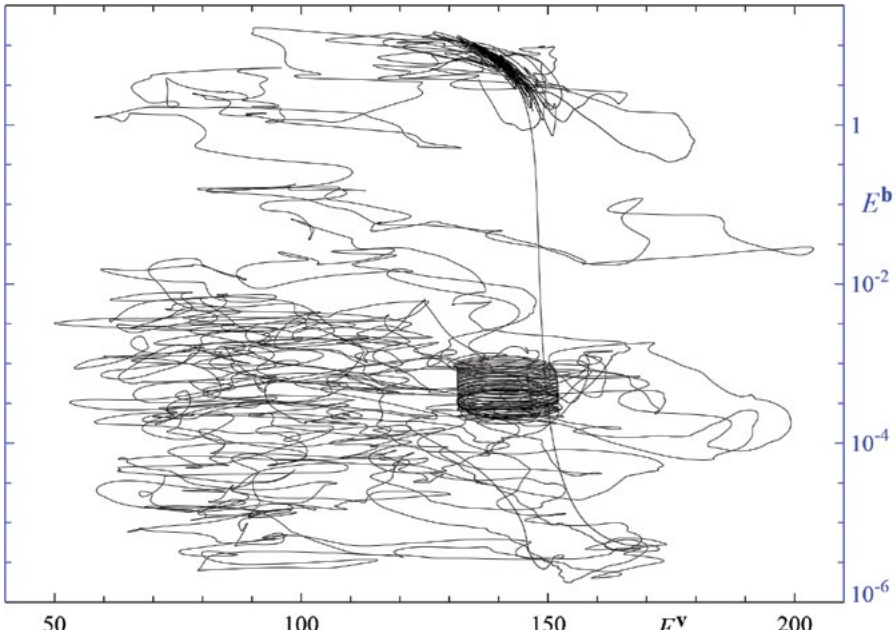
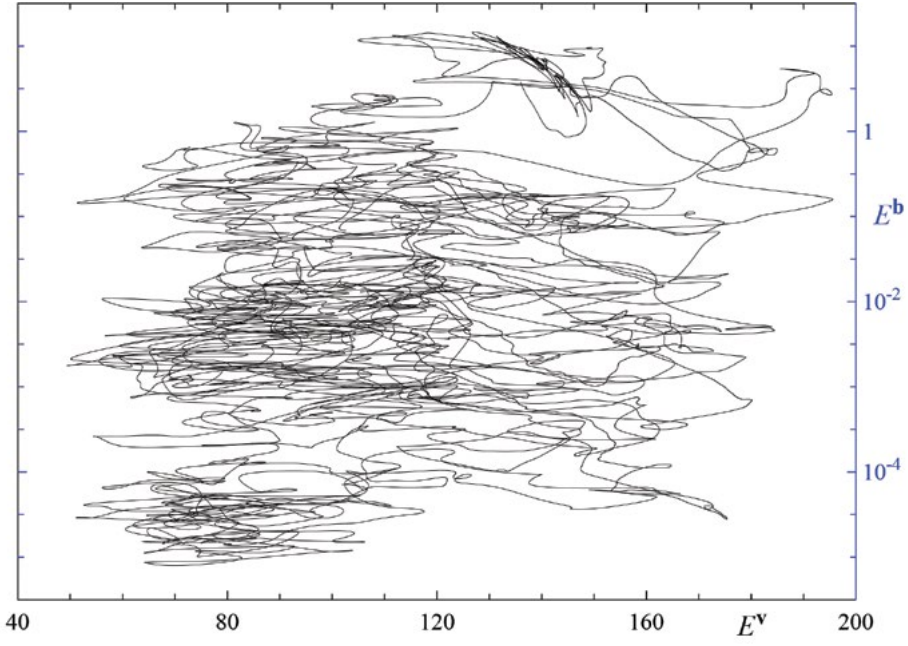


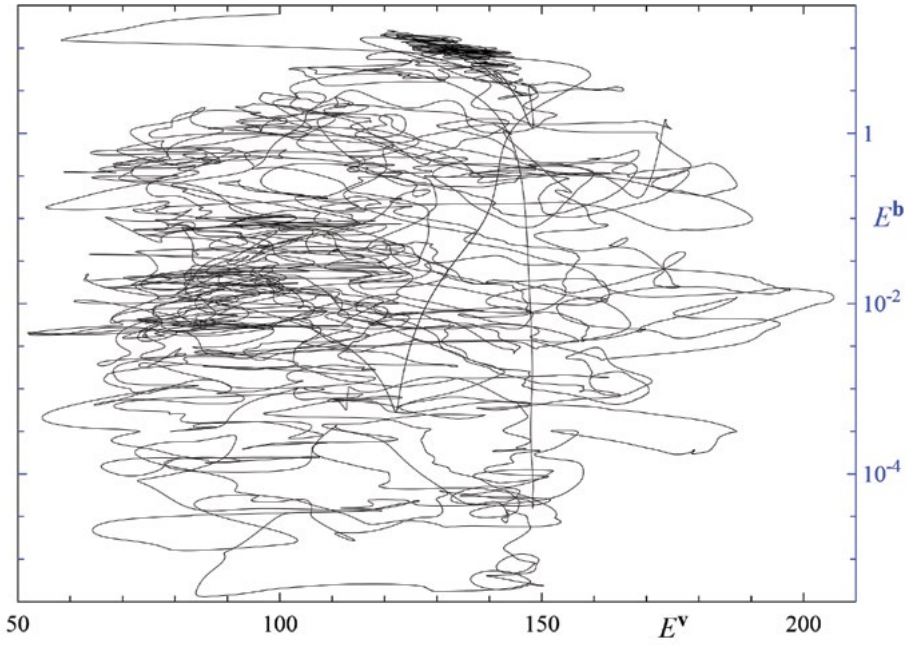
1-2 *Em cima, representações num intervalo temporal de 2 anos do número de casos confirmados de Covid-19 e médias de 7 dias e 14 dias (acima), e média de 14 dias por idade (abaixo) no distrito do Porto. Em baixo o mesmo tipo de informação relativa a Freixo de Espada à Cinta num intervalo temporal de 2 meses. / On the top, 2-years temporal representations of the number of confirmed Covid-19 cases and 7-day and 14-day averages (above), and 14-days average by age (bottom) in the district of Porto. At the bottom, the same type of information concerning Freixo de Espada à Cinta within a temporal interval of 2 months.*

Óscar Felgueiras, 2022

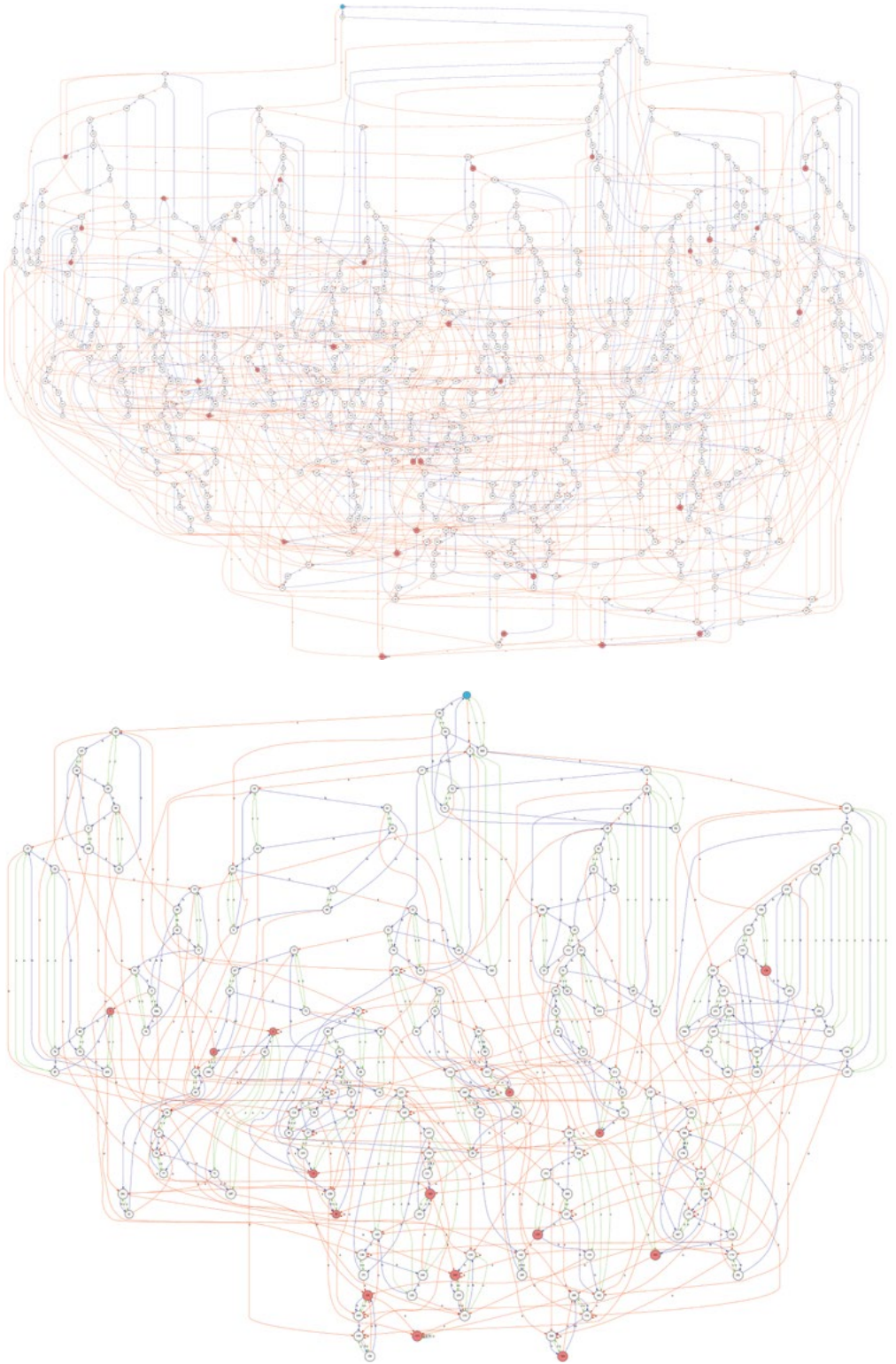
Imagem digital / Digital image

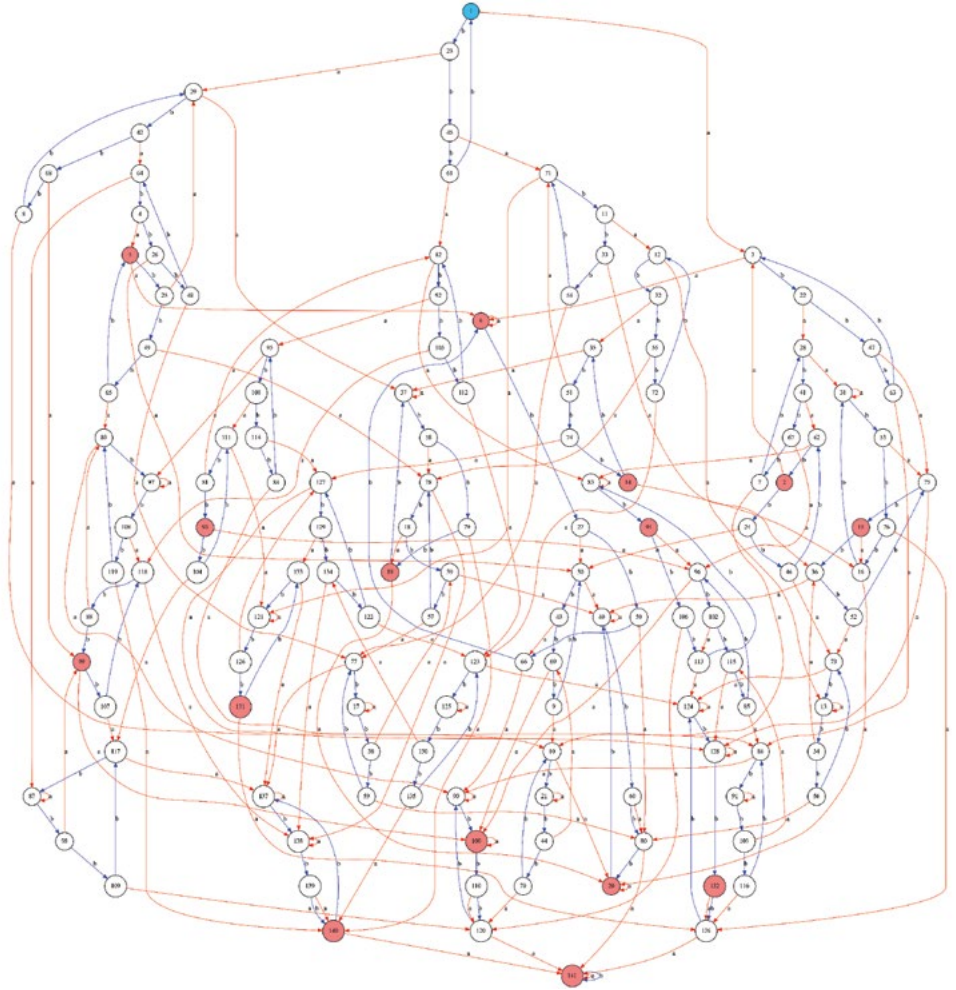
Matemática, FCUP e CMUP / Mathematics, FCUP and CMUP





- 3-5 *Desenhos computacionais produzidos para analisar o comportamento conjunto das energias cinética e magnética num modelo matemático de um fluido.*
/ Computational drawings produced to analyse the joint behaviour of the mean kinetic and magnetic energies in a fluid model.
Simon Ranjith Jeyabalan, 2022
Imagem digital / Digital image
Matemática, FCUP e CMUP / Mathematics, FCUP and CMUP





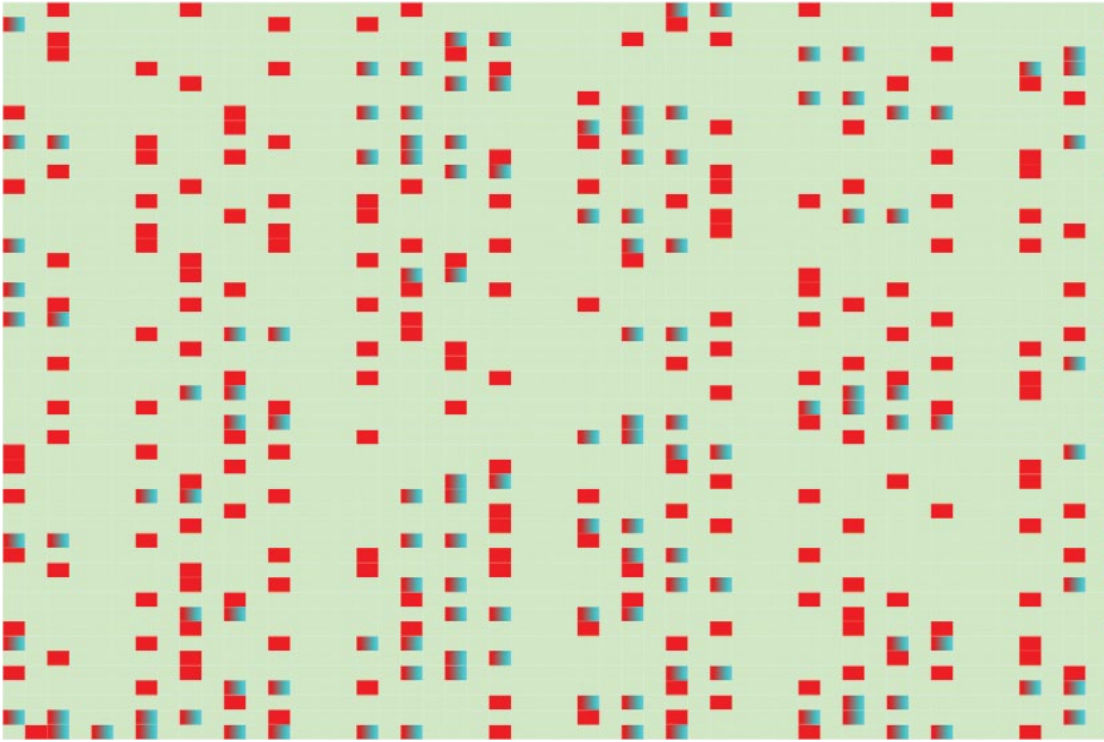
6-8 *Desenhos de grafos produzidos computacionalmente para visualização de relações e auxílio na investigação na área de Semigrupos Finitos.*
 / *Graph drawings produced computationally for visualizing relationships and assisting research in the area of Finite Semigroups.*

Manuel Delgado, 2022

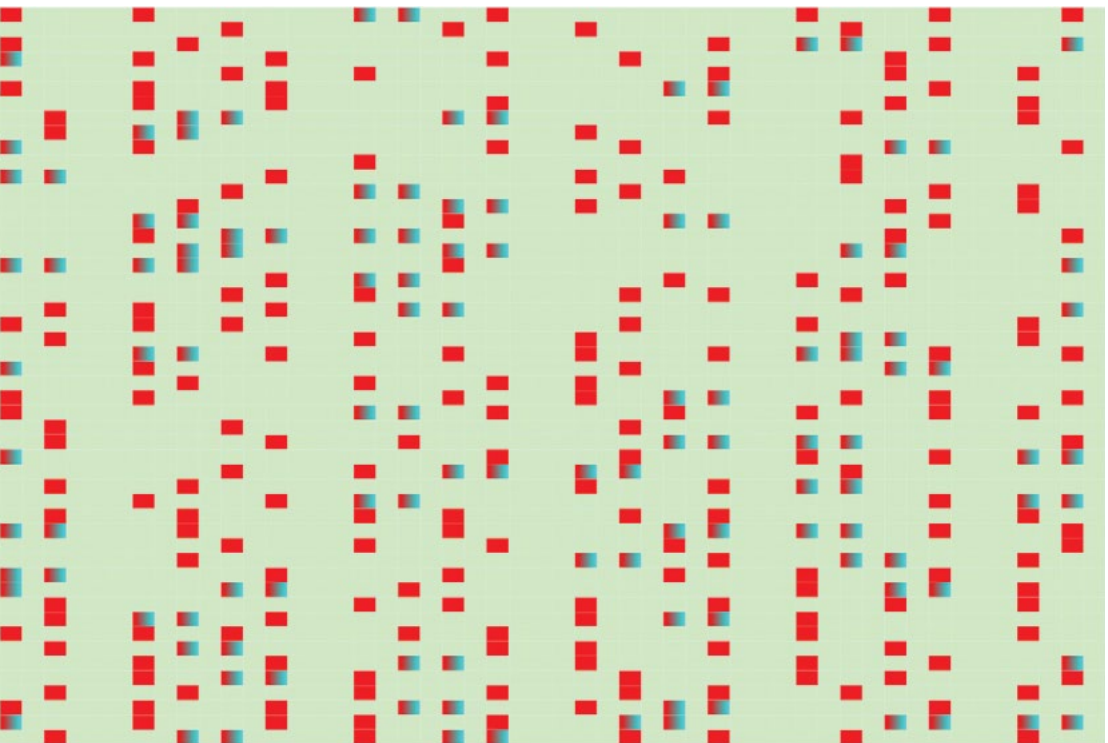
Imagem digital / Digital image

Matemática, FCUP e CMUP / Mathematics, FCUP and CMUP

951	952	953	954	955	956	957	958	959	960	961	962	963	964	965	966	967	968	969	970	971	972	973	974	975
901	902	903	904	905	906	907	908	909	910	911	912	913	914	915	916	917	918	919	920	921	922	923	924	925
851	852	853	854	855	856	857	858	859	860	861	862	863	864	865	866	867	868	869	870	871	872	873	874	875
801	802	803	804	805	806	807	808	809	810	811	812	813	814	815	816	817	818	819	820	821	822	823	824	825
751	752	753	754	755	756	757	758	759	760	761	762	763	764	765	766	767	768	769	770	771	772	773	774	775
701	702	703	704	705	706	707	708	709	710	711	712	713	714	715	716	717	718	719	720	721	722	723	724	725
651	652	653	654	655	656	657	658	659	660	661	662	663	664	665	666	667	668	669	670	671	672	673	674	675
601	602	603	604	605	606	607	608	609	610	611	612	613	614	615	616	617	618	619	620	621	622	623	624	625
551	552	553	554	555	556	557	558	559	560	561	562	563	564	565	566	567	568	569	570	571	572	573	574	575
501	502	503	504	505	506	507	508	509	510	511	512	513	514	515	516	517	518	519	520	521	522	523	524	525
451	452	453	454	455	456	457	458	459	460	461	462	463	464	465	466	467	468	469	470	471	472	473	474	475
401	402	403	404	405	406	407	408	409	410	411	412	413	414	415	416	417	418	419	420	421	422	423	424	425
351	352	353	354	355	356	357	358	359	360	361	362	363	364	365	366	367	368	369	370	371	372	373	374	375
301	302	303	304	305	306	307	308	309	310	311	312	313	314	315	316	317	318	319	320	321	322	323	324	325
251	252	253	254	255	256	257	258	259	260	261	262	263	264	265	266	267	268	269	270	271	272	273	274	275
201	202	203	204	205	206	207	208	209	210	211	212	213	214	215	216	217	218	219	220	221	222	223	224	225
151	152	153	154	155	156	157	158	159	160	161	162	163	164	165	166	167	168	169	170	171	172	173	174	175
101	102	103	104	105	106	107	108	109	110	111	112	113	114	115	116	117	118	119	120	121	122	123	124	125
51	52	53	54	55	56	57	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71	72	73	74	75
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25



976	977	978	979	980	981	982	983	984	985	986	987	988	989	990	991	992	993	994	995	996	997	998	999	1000
926	927	928	929	930	931	932	933	934	935	936	937	938	939	940	941	942	943	944	945	946	947	948	949	950
876	877	878	879	880	881	882	883	884	885	886	887	888	889	890	891	892	893	894	895	896	897	898	899	900
826	827	828	829	830	831	832	833	834	835	836	837	838	839	840	841	842	843	844	845	846	847	848	849	850
776	777	778	779	780	781	782	783	784	785	786	787	788	789	790	791	792	793	794	795	796	797	798	799	800
726	727	728	729	730	731	732	733	734	735	736	737	738	739	740	741	742	743	744	745	746	747	748	749	750
676	677	678	679	680	681	682	683	684	685	686	687	688	689	690	691	692	693	694	695	696	697	698	699	700
626	627	628	629	630	631	632	633	634	635	636	637	638	639	640	641	642	643	644	645	646	647	648	649	650
576	577	578	579	580	581	582	583	584	585	586	587	588	589	590	591	592	593	594	595	596	597	598	599	600
526	527	528	529	530	531	532	533	534	535	536	537	538	539	540	541	542	543	544	545	546	547	548	549	550
476	477	478	479	480	481	482	483	484	485	486	487	488	489	490	491	492	493	494	495	496	497	498	499	500
426	427	428	429	430	431	432	433	434	435	436	437	438	439	440	441	442	443	444	445	446	447	448	449	450
376	377	378	379	380	381	382	383	384	385	386	387	388	389	390	391	392	393	394	395	396	397	398	399	400
326	327	328	329	330	331	332	333	334	335	336	337	338	339	340	341	342	343	344	345	346	347	348	349	350
276	277	278	279	280	281	282	283	284	285	286	287	288	289	290	291	292	293	294	295	296	297	298	299	300
226	227	228	229	230	231	232	233	234	235	236	237	238	239	240	241	242	243	244	245	246	247	248	249	250
176	177	178	179	180	181	182	183	184	185	186	187	188	189	190	191	192	193	194	195	196	197	198	199	200
126	127	128	129	130	131	132	133	134	135	136	137	138	139	140	141	142	143	144	145	146	147	148	149	150
76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90	91	92	93	94	95	96	97	98	99	100
26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50





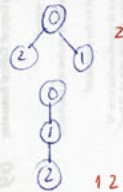
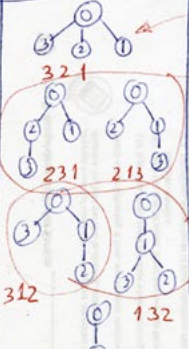
9-10 *Desenhos produzidos computacionalmente para visualização de relações e auxílio na investigação na área de Semigrupos Numéricos.*
/ Drawings produced computationally for visualising relationships and assisting research in the area of Numerical Semigroups.

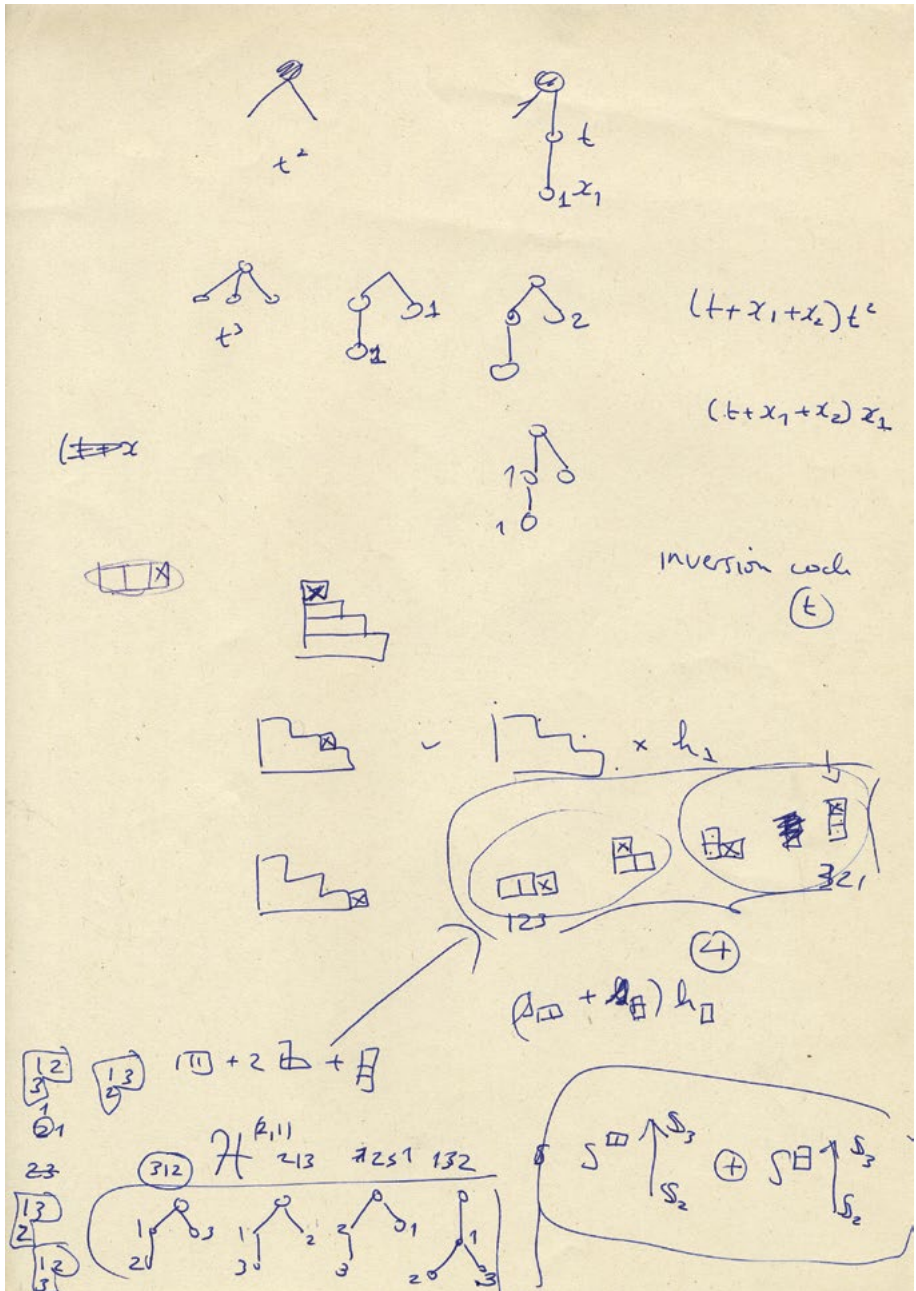
Manuel Delgado, 2022

Imagem digital / Digital image

Matemática, FCUP e CMUP / Mathematics, FCUP and CMUP

1

m	Tree	2 ^m	part de de	tan .. $\delta^{(1)}$
0	 $\emptyset \in S_0$	(0)	\emptyset	$f = 1^{(0)}$
1	 $1 \in S_1$	$(1, 0)$	\emptyset 1	$f^{(1)} h$
2	 21 12	$(2, 0, 0)$ $(1, 1, 0)$	\emptyset 2 1 2	$f^{(2)} h^2$ $1^{(1)} h^{(1)} h$
3	 321 213 312 132 123	$(3, 0, 0, 0)$ $(2, 1, 0, 0)$ $(2, 0, 1, 0)$ $(2, 1, 0, 0)$ $(1, 2, 0, 0)$ $(1, 1, 1, 0)$	\emptyset 1 2 3 1 2 1 3 2 3 1 2 3	$f^{(3)} h^3$ $3 f^{(2)} h^{(1)} h^2$ $f^{(1)} h^{(1)} h^2$ $f^{(1)} h^{(2)} h^2$ $1^{(1)} h^{(1)} h^2$



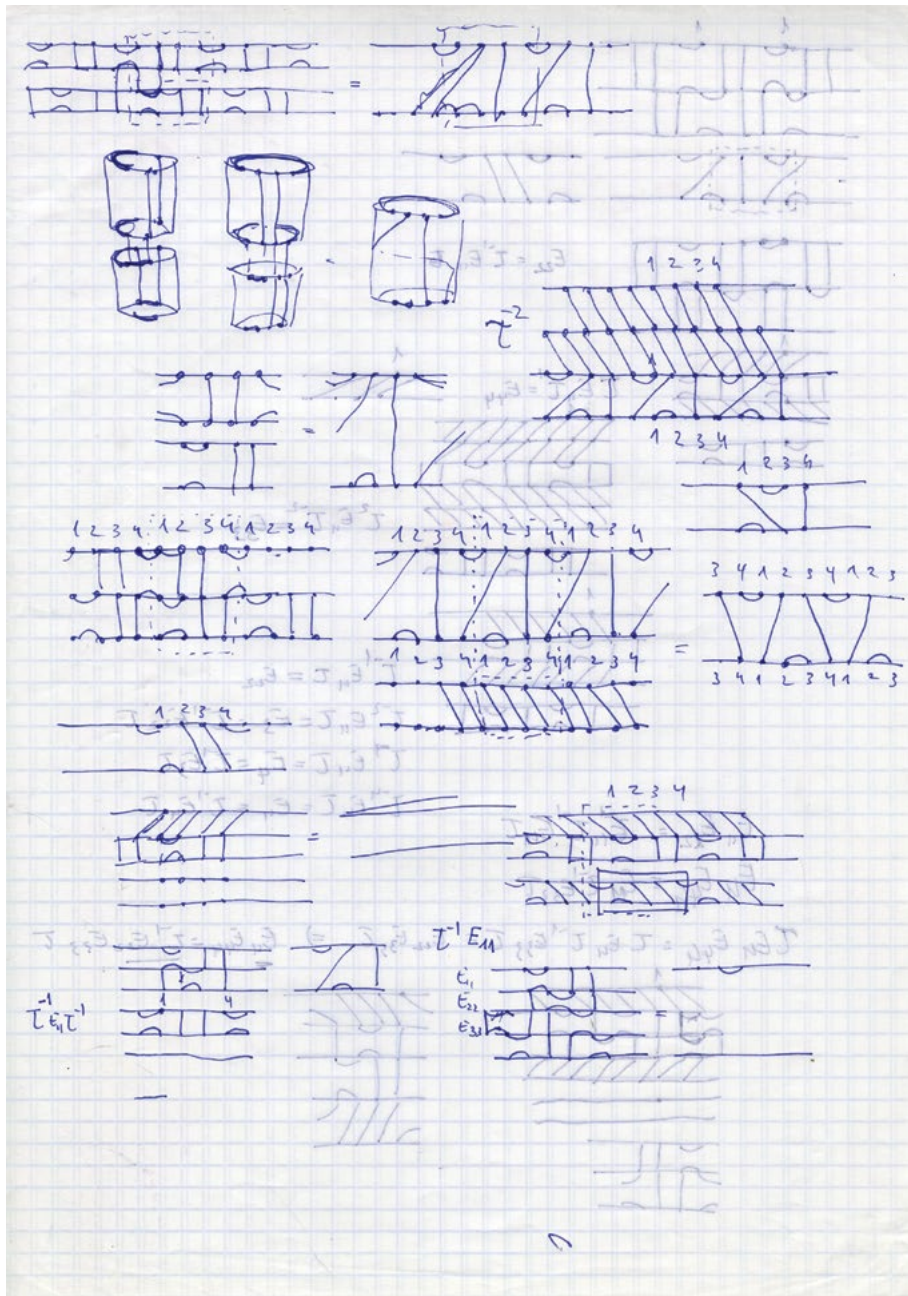
11-12 Teoria da Representação (Natureza Morta/Checkmate)

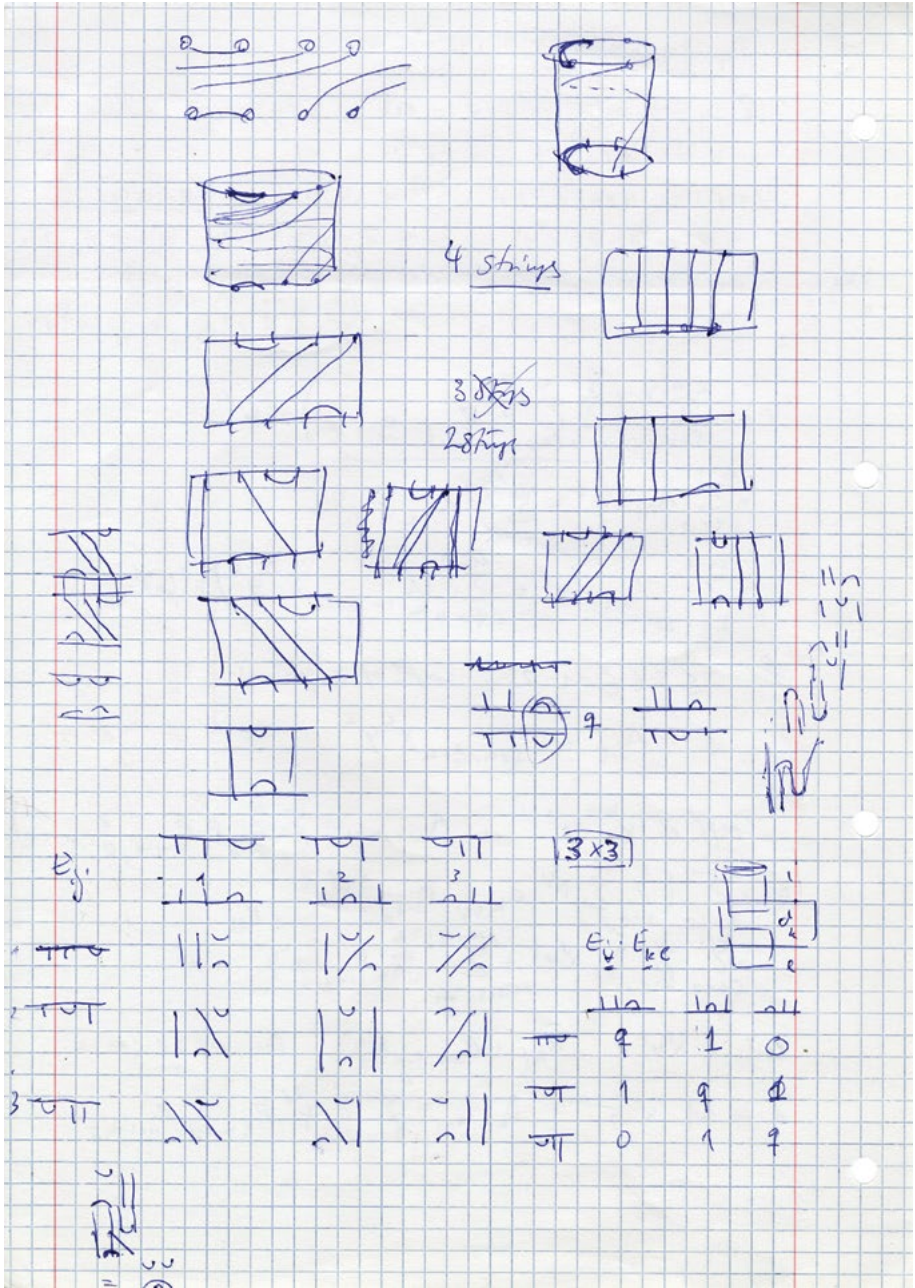
/ Representation Theory (Still Life/Checkmate)

Samuel Lopes, s.d.

Esferográfica sobre papel / Ballpoint on paper, 29,7 x 21 cm

Matemática, FCUP e CMUP / Mathematics, FCUP and CMUP



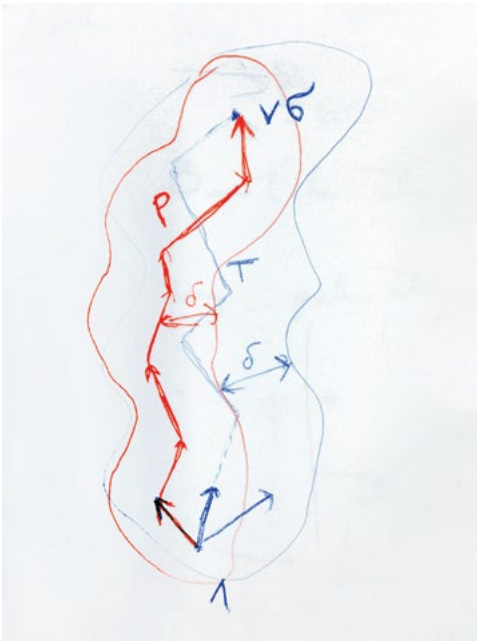
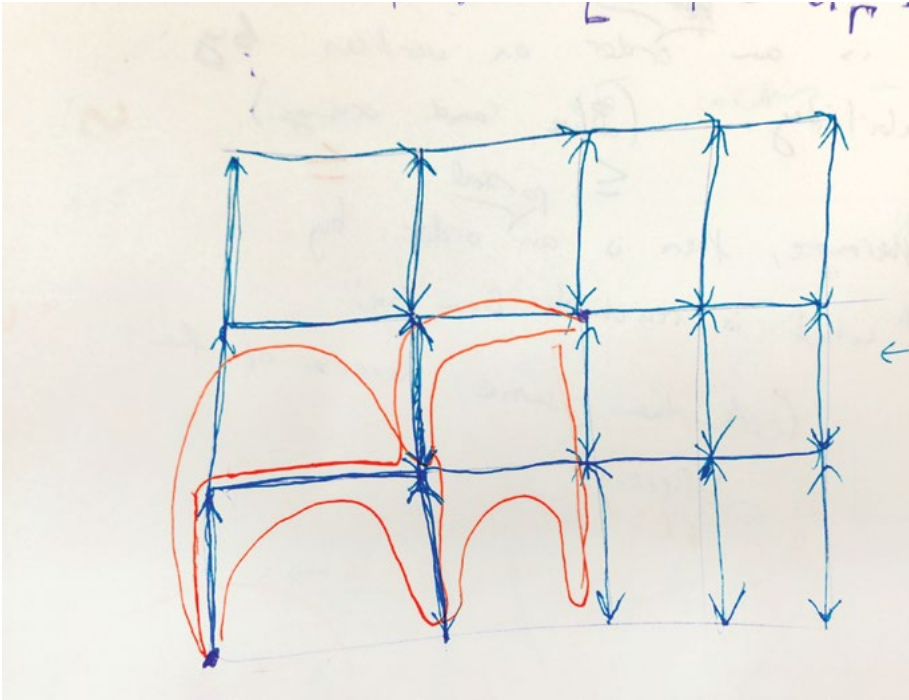


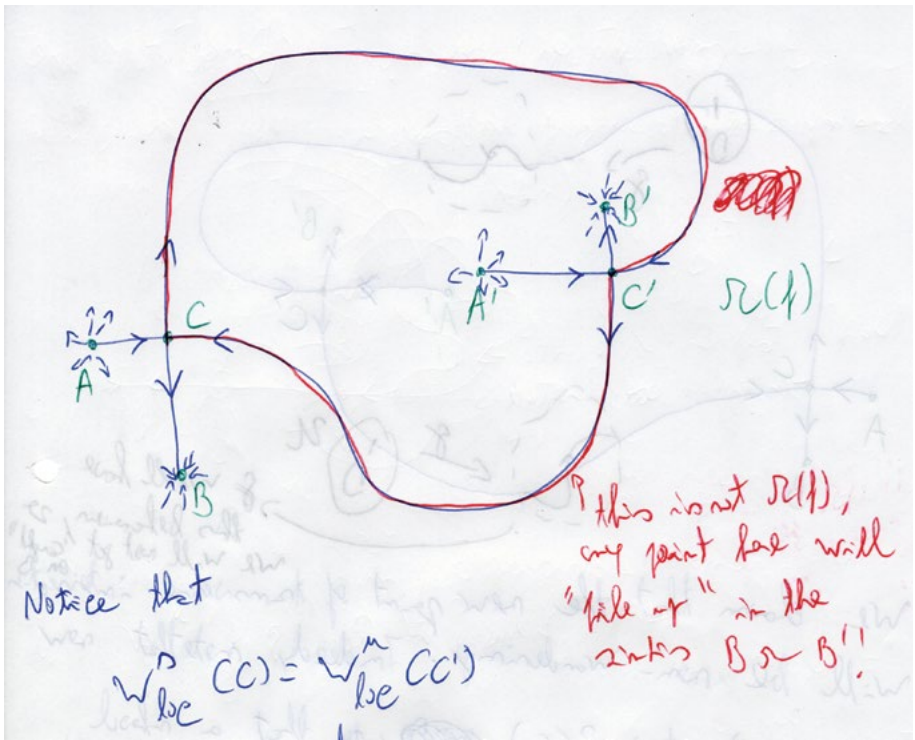
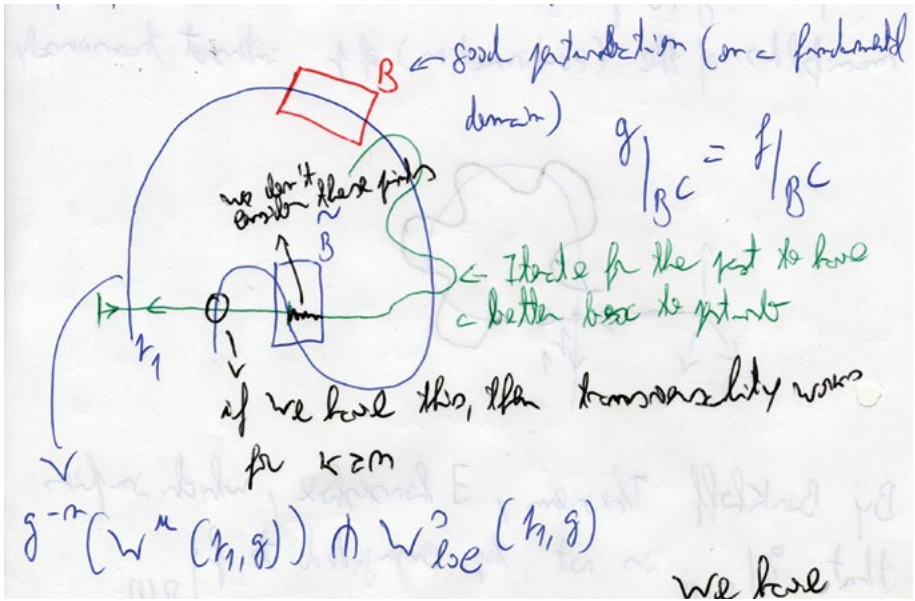
13-14 *Algebras Temperley-Lieb afins / Affine Temperley-Lieb Algebras*

Christian Lomp, s.d.

Caneta sobre papel quadriculado / Pen on squared paper, 29,7 x 21 cm

Matemática, FCUP e CMUP / Mathematics, FCUP and CMUP



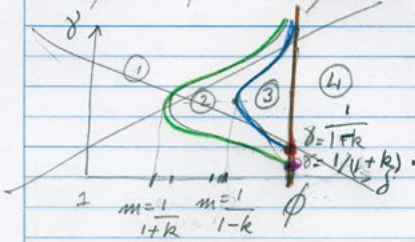


05/11 diagrams:

21/VII/21

folds: $\gamma = \frac{F(T)}{1+k} < \gamma = \frac{F(T)}{1-k}$

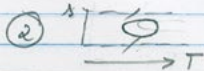
2 copies of the surfaces...



$$m(\delta) = \frac{\gamma(1-k)\beta x}{1+k}$$

$$m(\delta) = \frac{\gamma(1+k)\beta \sigma T=0}{1-k}$$

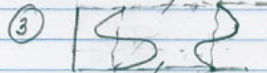
① ϕ



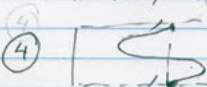
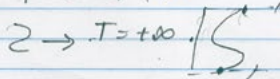
① \leftrightarrow ②



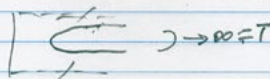
② \leftrightarrow ③



③ \leftrightarrow ④

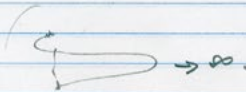


② \leftrightarrow ④



① \leftrightarrow ④

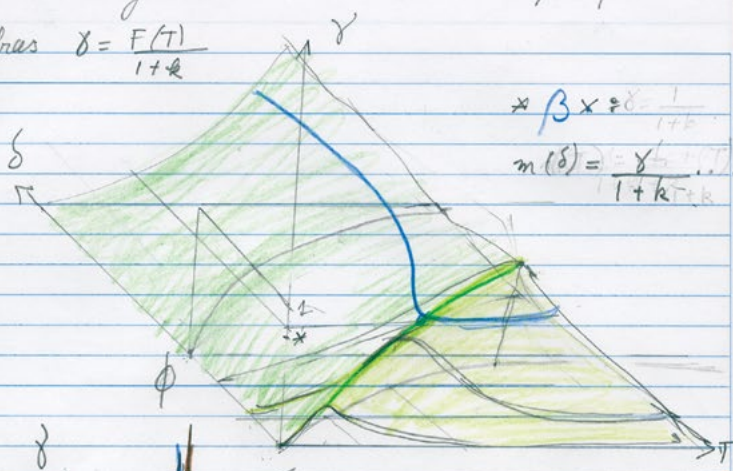
ϕ , ④ appears into folds



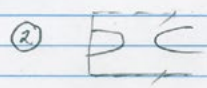
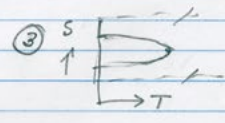
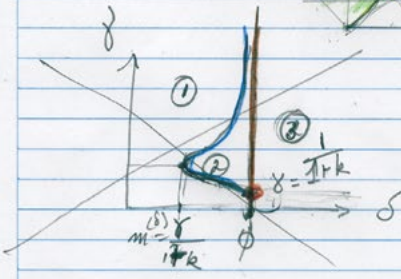
$k > 1$ diagrams:

21/VII/21

dobras $\delta = \frac{F(T)}{1+k}$

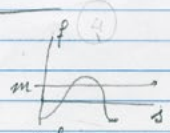


$\beta x \rightarrow \delta = \frac{1}{1+k}$
 $m(\delta) = \frac{\gamma}{1+k\gamma}$

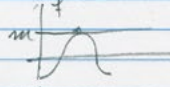


$\delta \rightarrow +\infty \Rightarrow T$
 $\delta < \phi$

$m(\delta) < \frac{\gamma}{1+k} \Rightarrow 0 \text{ dobras}$



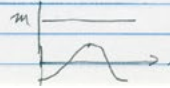
$m(\delta) = \frac{\gamma}{1+k} \Rightarrow 1 \text{ dobra}$



$\delta \rightarrow \phi$
 $m(\delta) \rightarrow 1$

$\beta x \rightarrow \gamma = \frac{1+k}{1+k}$

$m(\delta) > \frac{\gamma}{1+k} \Rightarrow 2 \text{ dobras}$



29/x/20

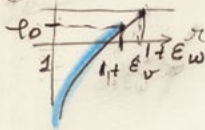
Geometry of $h_{w \rightarrow v} : \text{Out}(P_w) \rightarrow \text{Out}(P_v)$

Ray $\varphi = \varphi_0$ const \rightarrow spiral
because:

$$h_{2,v}(\varphi_0, r) = \varphi_0 + \frac{2\omega}{\varepsilon v} \ln\left(\frac{r-1}{\varepsilon v}\right)$$

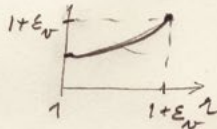
and.

$$0 < r-1 < \varepsilon w \quad \varepsilon v < \varepsilon w.$$



$h_{2,v}$ indep. of φ

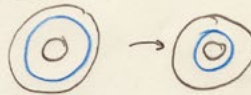
$$h_{2,v}(\varphi_0, r) = 1 + \frac{\varepsilon w}{\varepsilon v} \left(\frac{r-1}{\varepsilon w}\right)^{\delta v} \quad \delta v > 1$$



Circle $r = r_0$ const. \rightarrow circle

because:

$$h_{2,v}(\varphi, r_0) = \text{const}$$



$h_1(\varphi, r) = \varphi + \text{const}$, rigid rotation.

Geometry of $h_{v \rightarrow w} : \text{Out}(P_v) \rightarrow \text{Out}(P_w)$

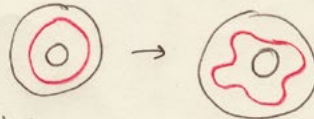
Circle $r = r_0$ const \rightarrow non contractible curve in

$\text{Out}(P_w)$, no folds:

because:

$$h_{1,w}(\varphi, r_0) = \varphi + \text{const.}$$

rigid rotation.



$$\text{If } m \leq \varphi \leq M \Rightarrow 1 + \varepsilon w \left(\frac{r_0 - 1 + m}{\varepsilon w}\right)^{\delta w} \leq h_{2,w} \leq 1 + \varepsilon w \left(\frac{r_0 - 1 + M}{\varepsilon w}\right)^{\delta w}$$

and $h_{2,w}(\varphi, r_0)$ periodic in φ .

*Desenho criatividade e comunicação.
A importância do desenho na engenharia*

Sílvia Simões, Pedro Alegria

O desenho como ferramenta
indispensável à engenharia

Vivemos numa sociedade cada vez mais tecnológica onde a celeridade da criação e acesso à informação são galopantes, onde somos permanentemente invadidos por milhões de imagens que consumimos e produzimos. Neste contexto dos excessos e da facilidade de produção e acesso, perguntamo-nos como é que o ensino do desenho respondeu a este desafio da velocidade, do virtual, em oposição ao tempo de observação, correção e erro implícito no ato de desenhar. Conscientes de que pensar a tecnologia também significa pensar as questões do nosso tempo – pensar o pensamento, como afirma Mackenzie (2002) – é urgente verificar se os modelos de ensino, num contexto em que a tecnologia digital está cada vez mais presente como meio de formação e de comunicação, promovem transformações na aprendizagem, para além das possíveis mudanças nos modelos operacionais de criação e produção da imagem.

Faz ou não faz sentido continuar a insistir no ensino do desenho? Será que se pode projetar sem saber desenhar? Que desenhos são estes que falamos e ensinamos? Que sentido faz o desenho e saber desenhar nas áreas da engenharia? Estas questões estruturam a recolha e reflexão que integra o projeto de investigação DRAWinU, que pretende encontrar no campo da engenharia relações de proximidade nos modos e formas como as ciências e as artes usam o desenho em prol do conhecimento.

É um dos objetivos primeiros deste estudo alcançar uma compreensão mais abrangente da relação de estudantes, pessoal de investigação e docentes da Universidade do Porto com a atividade de desenho, compreendendo os seus usos e modos operativos para o desenvolvimento de novas estratégias de aprendizagem e competências de investigação no ensino superior. Centra-se no impacto da aprendizagem, na promoção do pensamento criativo, no raciocínio visual e espacial, na metodologia de projetos e na disseminação do conhecimento através do desenho. O projeto pretende realizar o estudo nos centros de investigação e salas de aula das Faculdades da Universidade do Porto (UP) proporcionando um contexto onde o desenho pode ser avaliado num quadro comum das áreas CTEAM (Ciência, Tecnologia, Engenharia, Arte e Matemática).

De forma a tornar a investigação mais focada e consistente dividiram-se por áreas de conhecimento, tendo ficado a cargo dos autores a área da engenharia que, por si só, reúne diversos campos de conhecimento específico. Pela diversidade e amplitude de cursos que são oferecidos pela Faculdade de Engenharia do Porto, ainda não nos foi possível completar o levantamento das 14 áreas disciplinares, pelo que nos centramos nas áreas de engenharia mecânica, civil, eletrotécnica e computadores, robótica, química, física e engenharia de gestão industrial, esperando na conclusão do projeto de investigação, ter disponíveis no arquivo imagens de desenhos representativos de todas as áreas. Esta convivência de distintas proveniências facilita a percepção das diferenças, mas também nos permite encontrar um terreno comum entre elas.

A universidade está no topo da vanguarda formativa das escolas técnicas que almejam capacitar estudantes a lidar com as tecnologias do presente, mas também com as do futuro, tornando a área da engenharia o objeto de estudo desejado. Para quem, como nós, tem como tema de investigação o desenho como uma ferramenta universal potenciadora da mudança, encontramos na área das engenharias um terreno fértil para recolher e organizar informação que vai desde a natureza do arquivo de imagens a testemunhos que nos permitem assentar no pressuposto de que o desenho continua a ser fundamental para o ensino das áreas CTEAM.

A cientificação do desenho

O desenho é uma ferramenta utilizada desde os tempos antigos. Durante a maior parte da história humana não houve distinção entre desenho usado para fins técnicos ou desenhos feitos para fins artísticos ou outros. O famoso caso de Leonardo da Vinci é exemplar dessa indistinção: em carta a Ludovico Sforza, ele apresenta-se extensivamente como engenheiro hidráulico e militar, referindo-se de forma breve à sua capacidade de “executar escultura em mármore, bronze e barro. Da mesma forma na pintura” (Marshall, 2022). A divisão entre desenho artísticos e técnico foi gradual, mas crucial para tornar o desenho num instrumento de engenharia. Nos dias de hoje, há uma diferença muito clara na natureza dos desenhos técnicos e artísticos.

Ao longo dos tempos, a atividade do desenho refletiu os paradigmas de pensamento dominantes da época. Houve quatro grandes momentos no pensamento ocidental desde a antiguidade: o primeiro pode ser identificado com o platonismo e tem uma base racionalista/idealista que corresponde aproximadamente às visões da corrente neoplatônica da igreja até ao Renascimento. Nesse período, o desenho e a pintura visavam principalmente a representação de ideias e não a representação de objetos concretos, razão pela qual encontramos figuras altamente estilizadas nas igrejas: o mundo real era considerado imperfeito e, como tal, não sendo um bom motivo para representar. A realidade era concebida como a geometria euclidiana, baseada em premissas ideais tidas como verdadeiras no mundo verdadeiro, ou seja, o mundo das ideias. Essa tendência empírica ainda influencia até aos dias de hoje tanto as ciências quanto o desenho, e atingiu seu apogeu durante o Iluminismo e seus desdobramentos positivistas no século XIX. No século XVIII, a confiança de que a conquista do conhecimento estava ao alcance dos indivíduos atingiu seu ponto mais alto. No desenho e na representação, essa confiança ainda está muito presente no ensino de John Ruskin baseado no conceito do “olho inocente” que assume um poder de observação objetivo e que “a percepção dessas manchas planas de cor, meramente como tal, sem consciência do que elas significam – como um cego os veria se de repente fosse dotado de visão” (Ruskin, 1912, p. 3). Betty Edwards explicou essa posição com base nas funções neurobiológicas dos hemisférios do cérebro (1979). No final do século XIX, um *ethos* mais pragmático entrou em cena, influenciado pelos movimentos socialistas e pelas ciências psicológi-

cas, que reconheciam o indivíduo como uma força que tudo influencia. A própria percepção de que a representação dependia do modo como havia sido feita e, portanto, poderia ser de alguma forma falsa ou subjetiva, levou à busca por métodos “objetivos” de representação. Daí os esforços de esclarecimento que culminaram nos métodos de representação geométrica como a *Géométrie Descriptive* de Gaspard Monge. Na ciência, o mito do observador imparcial ou da existência de sistemas fechados enfraqueceu e em meados do século XX passou a ser aceita uma visão mais humana da construção da ciência. Nascia o expressionismo subjetivo: a expressão da identidade e da individualidade de cada um no contexto de movimentos massificados e tornou-se uma força motriz para os artistas. A elevação da subjetividade acima da objetividade deu origem à aceitação do desenho com distorções como um reflexo mais verdadeiro da individualidade de seu autor. O movimento artístico conhecido como Modernismo nasce, afastando-se do imperativo da representação precisa do mundo visual, e adotou a ideia de arte como uma representação mais verdadeira do indivíduo. É claro que esses eventos prejudicaram a comunicação, a clareza e a padronização e assim começou a separação do desenho técnico do desenho artístico, como reflexo da separação entre arte e ciência. O século XX trouxe consigo o estruturalismo e seus desdobramentos pós-estruturalistas, que colocam em dúvida a possibilidade de algo ser conhecido de forma objetiva. Isso é comumente conhecido como visão construtivista, segundo a qual apenas interpretações do mundo podem ser alcançadas. O relativismo e o diálogo semiótico estão presentes em todos os momentos da representação do mundo e devem ter que ver não apenas com as inadequações de cada um para realizar a tarefa, mas com práticas transculturais de outros que devem ser reconhecidas como legítimas. Embora no século XX tenham sido feitas várias tentativas de Popper, Kuhn, Feyerabend e Bunge para enfrentar essa questão, elas serviram apenas para nos alertar para pontos cegos e não alteraram substancialmente o cotidiano científico, exceto no campo da ética da ciência.

No século XXI ninguém pode alegar a inocência do olho, e o impacto das suas ações sobre os outros deve sempre ser levado em conta, mas a busca pela objetividade no desenho técnico, como a ciência, continua num *ethos* em grande parte pré-construtivista.

A natureza comunicacional do desenho

A definição do que se entende por desenho pode ser ambígua. Grande parte desta ambiguidade provém da diversidade das suas funções, da área de conhecimento em que trabalha, dos materiais e suportes que utiliza e da sua finalidade. Nem todos os desenhos têm a mesma função ou partem da mesma afirmação e como consequência deverão ser esperados resultados diferentes. Por conseguinte, é importante definir primeiro o que estamos a falar quando nos referimos ao desenho no contexto deste texto, e no que estamos interessados em apresentar na sua relação com a área da engenharia. Como é estabelecida a comunicação e como comunicamos o desenho nas artes e na engenharia de formas tão diferentes?

O desenho é um meio gráfico com o qual encarnamos ideias do mundo conceptual comum, proporcionando uma ligação entre representação e apresentação. Ao longo dos séculos, o desenho alcança uma posição dentro da visualização da exploração artística, científica e teórica que o distingue de outras formas de comunicação. A possibilidade de utilizar imagens do que construímos mentalmente significa que o desenho é convocado para registar e inscrever ideias sem ter de obedecer a uma estrutura gramatical ou sintaxe, e pode ser organizado como uma alternativa não linear a formas mais discursivas de comunicação, mantendo, no entanto, o grau de objetividade e pertinência.

Como mencionado anteriormente, nem todos os desenhos têm a mesma origem. Alguns surgem da necessidade de escrever ideias como se fossem notas; outros têm o propósito de resolver o problema da construção de um barco, uma casa ou uma ideia (Fig. 1) (imagens 4 e 7).



Fig. 1 – José Carlos Alves, *Desenhos de Projeto do Veleiro robótico FAST. – FEUP Autonomous Sailboat*, 2007.

Outro tipo de desenho surge como uma necessidade de testar e comprovar teorias, criar alternativas e apresentar evidências. Exemplo disso é o desenho da Fig. 2 que após verificação da sua veracidade é integrada num artigo científico (Fig. 3). Aqui o desenho assume duas funções: se na primeira é o instrumento através do qual procuramos respostas a problemas, no segundo é a forma como ilustramos e sintetizamos esse mesmo conhecimento. Temos, portanto, duas representações diferentes do mesmo objeto às quais correspondem operações, funções e formas de representar distintas.

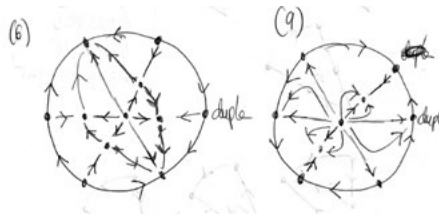


Fig. 2 – Begoña Alarcón, *Diagrama de fase*, 2021.

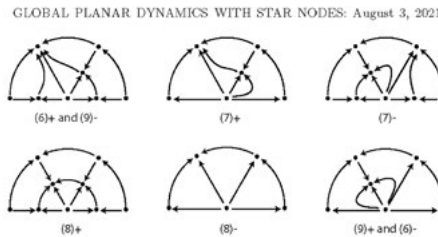


Fig. 3 – Begoña Alarcón, Sofia B.S.D. Castro, Isabel S. Laboriau, *Diagrama de fase*, 2021.

Se o desenho é muitas vezes o instrumento que torna visível o pensamento, pode ser utilizado para estruturar novos problemas, dando espaço a novos conhecimentos, e funcionando como um “motor de busca” que lança perguntas e tenta obter respostas. Fergusson (2001) fala-nos da relação entre pensar com imagens – o *Olho da Mente*, no campo da engenharia é a necessidade de desenhar para traduzir essas imagens do cérebro em imagens visíveis para todos. Ele afirma que a maior parte da informação que é pensada na engenharia é transmitida por desenhos. Em engenharia, a mensagem deve ser transmitida objetivamente, e é onde o desenho se assume como uma linguagem capaz de traduzir e comunicar o pensamento para a imagem, como se de uma língua franca se tratasse (imagens 2, 8, 10, 13, 14).

Visual thinking is necessary in engineering. A major part of engineering information is recorded and transmitted in a visual language that is in effect the lingua franca of engineers in the modern world. It is the language that permits “readers” of technologically explicit and detailed drawings to visualize the forms, the proportions, and the interrelationships of the elements that make up the object depicted. It is the language in which designers explain to makers exactly what they want them to construct. (Fergusson, 2001, p. 41)

Podemos dizer que o desenho é a ação de estabelecer o conhecimento, ocupando simultaneamente o espaço de conceptualização, formalização e comunicação, cuja intenção é mostrar uma imagem. De facto, esta qualidade híbrida do desenho, caracterizada pela indefinição dos seus limites exige uma categorização sobre a identificação do que é ou não desenho.

De maneira geral, quando se fala em desenho pensa-se logo em artes. Ao longo destes dois anos em que recolhemos desenhos no contexto da Universidade, ouvimos muitas vezes por parte de colegas frases como: “Nós não desenhamos” ou “faço uns riscos para explicar, mas não são desenhos são apenas esquemas, diagramas”. Ora, como se vai verificar ao longo deste trabalho de recolha, tais afirmações não são verdadeiras e a importância e presença do desenho na área da engenharia é tão relevante como fundamental.

Ensinar é mostrar o caminho da procura, da dúvida e do questionamento. Como instrumento de mediação gráfica e à disposição do pensamento visual, o desenho tem a disponibilidade de encorajar

e desenvolver uma reflexão crítica sobre o próprio processo e exerce uma função pedagógica fundamental no desenvolvimento crítico e criativo. Desenhar pode ser um instrumento útil para ajudar a pensar, a procurar, a fixar ideias. Como nos dizia numa conversa informal a Professora de Engenharia Física Diana Urbano, o desenho é fundamental para aprendizagem da física já que segundo a teoria da carga cognitiva¹ (Sweller, 1988) desenhos, esquemas e gráficos ajudam na apresentação da informação de uma forma que encoraja as atividades da aprendizagem e otimizam o desempenho intelectual, diminuindo assim a carga cognitiva empregue na aprendizagem. A imagem agrega e sintetiza vários tipos informação, facilitando a compressão e a memória a longo prazo, como também cria uma relação empática com a aprendizagem. Por isso os manuais de física, além de fórmulas e texto antes de tudo apresentam ilustrações.

O pensamento visual começa não com o desenho no papel, mas sim com o ver, e até ao momento não se conhece outra ferramenta que nos permita projetar o que habita o mundo etéreo das ideias. E ao contrário do que possamos pensar, não depende da nossa aptidão para desenhar, mas da nossa capacidade de ver. Ver, consciente ou inconscientemente, é um ato de organização e estabelecimento de relações. A maioria de nós tem esta capacidade e sempre a utilizou para compreender o que o rodeia e é esta compreensão e identificação de padrões que nos permite estabelecer relações entre o que vemos e o que não vemos, tornando possível a abertura do imaginário e a compreensão do real.

1 A teoria da carga cognitiva ajuda-nos a compreender como as pessoas geralmente aprendem e armazenam novas informações, e os tipos de práticas instrucionais que melhor apoiam a aprendizagem. Baseia-se nas características da memória de trabalho e da memória a longo prazo e na relação entre elas para explicar a forma como as pessoas aprendem. A teoria da carga cognitiva surgiu no final dos anos 80 a partir do trabalho de John Sweller e dos seus colegas.

O desenho como ferramenta de construção de pensamento em ciência

A observação científica da realidade é reducionista: a análise do mundo é feita para isolar as variáveis relevantes e depois modelar como elas afetam o resultado do sistema. Portanto, observar o mundo e sintetizar seus aspectos relevantes são primordiais para a posterior compreensão de seu funcionamento e o desenvolvimento de teorias.

O desenho é uma ferramenta que, pela sua natureza intrinsecamente interpretativa, é excepcionalmente adequada a este processo sintético. Estas anotações gráficas ajudam a interpretar o problema à luz de seu próprio conhecimento e experiência, permitindo o diálogo crítico entre o que inicialmente foi uma imagem mental, permitindo desta forma produzir uma compreensão, organização e sistematização das informações de forma significativa. Sem o desenho, que permite fixar uma ideia, o confronto e a seleção das possibilidades existentes torna-se difícil.

Como diz Mazur, a visão será o sentido que mais informa a mente:

Of all our senses, vision may be the one that most informs our mind. For this reason, expert problem solvers rarely start working on a problem without first making some sort of visual representation of the available information, and you should always do the same. Such a drawing helps you establish a clear mental image of the situation, interpret the problem in light of your own knowledge and experience, develop a qualitative understanding of the problem, and organize the information in a meaningful way. Without the drawing, you have to juggle all the information in your head. (Mazur, 2022, p. 27)

Esta importância do desenho na facilitação do manipular da informação na mente é instrumental em todos os processos ligados às ciências e, em maior grau, no campo da engenharia. De facto, a engenharia é um campo em que o desenho pode ser a todo o momento descritivo ou projetual, transitando de modo fluido entre estes dois estados. É isso que lhe dá a força como ferramenta mental e, simultaneamente, como ferramenta de ensino/aprendizagem.

Trata-se, de algum modo, em proporcionar um espaço de luta entre o projetual e o perceptivo, ou, se quisermos usar os vetustos termos platônicos: entre o ideal e o real. A importância do desenho na engenharia é precisamente ser a arena, o coliseu, o cenário dessa luta,

o permanente fluxo entre o pensado e o realizado, duas naturezas complementares. É precisamente a sua capacidade de se manter *entre* os dois lados desta dicotomia, que lhe dá toda a sua potência como ferramenta de engenharia. Quando assume uma das naturezas torna-se ilustrativo, finaliza, torna-se um resultado, o *fóssil* do processo de pensamento.

Esquemas e diagramas têm obviamente uma natureza sintética, mas a sua produção não é apenas uma conquista visual, é antes de mais um processo intelectual. É neste processo dialógico que se gera conhecimento. Trata-se de um círculo virtuoso onde o projetual se transforma em percetivo: onde o ideal aprendido se permite identificar no real percebido.

A todo o momento, o conhecimento aprendido afeta o resultado percebido pelo olho, pois impõe a interpretação do que se vê e informa a seleção das partes relevantes. O conhecimento anterior também é importante na avaliação do resultado e influencia a forma como o aluno adapta o conhecimento aprendido ao exemplar que tem à sua frente.

Esse círculo virtuoso, visto na Fig. 4, é uma base importante para o processo de aprendizagem científica.

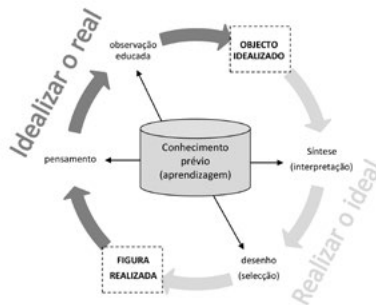


Fig. 4 – Círculo virtuoso de diálogo entre o real e o ideal.

Podemos dividir este círculo em duas partes: a primeira, a que podemos chamar de *realização do ideal*, coloca o sujeito em confronto com o objeto real, numa relação de entendimento em que o seu conhecimento prévio se conjuga com a realidade que vê. O exercício vai no sentido de tornar real o objeto ideal, o que é aprendido. Nesse momento, a figura realizada – o desenho – torna-se o *locus* onde o ideal se realiza. Por exemplo, quando uma aluna desenha um corredor em perspetiva, como se pode ver na Fig. 5 (imagem 13), não o realiza meramente de forma mimética a partir do real, mas sim interpretando o real atra-

vés da matriz da perspectiva linear, usando um conjunto de conceitos aprendidos previamente como linha do horizonte, ponto de fuga, etc., que estruturam a figura produzida desde o primeiro momento. A figura produzida é uma instância, um exemplo concreto, do conceito ideal realizado numa figura. Contrariamente ao registo fotográfico que memoriza e regista toda a informação presente no momento, o desenho é a seleção da representação que valoriza a informação observada.

Para o construir, os estudantes deverão conhecer os conceitos relevantes e selecionar, a partir do real, as partes que se identificam com esse conceito ideal. Ao fazê-lo, revela capacidade de aplicação prática do conhecimento, assimilação e alojamento (Piaget, J., 1896-1980), poder de síntese, poder de seleção das partes relevantes do conceito à realidade e pode ser avaliado, criticado e corrigido pelo professor em todos estes passos.

Como desenhar é sempre uma produção de discurso reducionista abstrato, quando um aluno produz um desenho, em sala de aula, ele está a fazer escolhas, a selecionar as variáveis relevantes e pode ser avaliado nessa tarefa e orientado, se necessário, na direção certa.

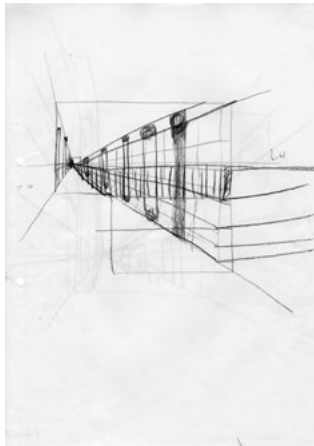


Fig. 5 – F. Aguiar, *Desenho à vista de espaços interiores da FEUP*, s.d.

O segundo momento, a que podemos chamar de *idealizar o real*, corresponde a essa parte do processo científico de criação de modelos ou teorias sobre a realidade. Partindo de um conjunto de características do real, registado aqui como uma “figura”, aplica-se um processo de pensamento, de síntese, de redução de variáveis, de conhecimento

que extrai e sintetiza o real, faz uma redução: *idealiza-o*. Deste modo, constrói-se o objeto idealizado que, mais uma vez como síntese do real, pode ser avaliado, criticado e corrigido pelos pares no campo relevante da ciência. Para o processo de aprendizagem, este momento é também muito importante dado que é o momento em que aluno interioriza o modelo – a teoria –, e lhe permite uma sucessiva tentativa, porventura mais conseguida. Como se pode ver na Fig. 6 (imagem 13) um modelo ideal de um circuito real serve para o estudante demonstrar o seu domínio das leis de Kirchhoff que é em si mesmo um modelo do funcionamento de circuitos eletrónicos.

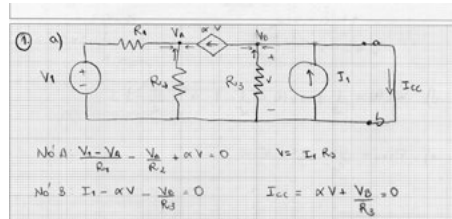


Fig. 6 – ARABIC 4, Diagrama da Lei de Kirschoff, s.d.

A idealização do real está então ligada à síntese, à modelização e a construção teórica e, no campo concreto do desenho, à standardização. O desenvolvimento de diversos tipos de notação gráfica, de tipologias de ilustração e de desenho técnico são exemplos claros.

Usando esta estruturação, podemos então fazer uma tentativa não exaustiva de classificação dos desenhos recolhidos conforme o seu pendor para uma determinada localização no círculo virtuoso entre o ideal e o real.

No que nomeamos por “idealizar o real” consideramos todos os desenhos que têm por objetivo reduzir o real a um conjunto limitado de variáveis, modelizar o real, simplificá-lo: os diagramas notacionais em que este objetivo é realizado através de uma notação rígida e universal a todos os agentes, como são alguns dos exemplos recolhidos: esquemas elétricos, circuitos, diagramas químicos, modelos moleculares, diagramas de Jablonski, diagramas cinemáticos, fluxogramas, diagramas de blocos, geometria, cálculos matemáticos; e os diagramas miméticos em que o objetivo é conseguido através de esquemas que de algum modo, mimetizam o real de forma simplificada, e que recorrem por isso a normas rígidas de representação: plantas, alçados, cortes, simulações 3D, ilustração de procedimentos e desenhos de ins-

trução, vistas explodidas, desenhos de conjunto sendo que existem muitos outros campos que não identificamos no conjunto de desenhos recolhidos e como tal não são nomeados (imagens 8, 9 e 17).

No que entendemos “Realizar o ideal” inventariamos todos os desenhos que partem da observação direta do real e que têm como objetivo representar o real, mas dentro de um sistema pré-existente. Em geral, trata-se de desenhos de observação realizados respeitando uma norma sem perderem o real como referência. Exemplos são o desenho de observação, o desenho de anotação, desenho científico, desenho de perspectiva ou desenho técnico.

A diferença entre estes dois grupos de divisão reside em que os primeiros podem ser feitos sem referência direta a um caso real, pois são desenhos que existem como modelos do real e que dele são autônomos: trabalham uma versão idealizada do real. Os segundos nunca podem ser desligados do real: trabalham a forma como sendo o ideal, o modelo, o sistema aplicado a um caso real. São a concretização gráfica dum determinado sistema aplicado à realidade.

Apesar da distribuição simplificada entres dois grandes núcleos – idealização/ realização – as fronteiras não são tão rígidas e os modos de comunicar com desenho realizam-se, consigo próprio e com os outros, dependendo da sua função. O desenho assume-se como um veículo que, tal como outras formas de comunicação, depende de múltiplas variáveis tais como capacidade, competência, conhecimento, como, para quê e a quem pretendemos representar as nossas ideias, conceitos e mesmo a nossa compreensão do mundo. Estamos conscientes de que estamos condicionados por um conjunto de fatores que interferem decisivamente no âmbito da nossa comunicação, limitando a nossa capacidade de transcrever o mundo das ideias para o mundo da apresentação. É precisamente a relação dialógica entre os diferentes usos do desenho ao longo do projeto, que alimenta o pensamento/desenho e o processo mental/projetual que vemos em permanente fluxo ao longo do círculo virtuoso (Fig. 4) que representa entre o real e o ideal, o todo e a síntese, o mundo e o modelo, fundamental ao pensamento na engenharia.

1.

O desenho técnico como instrumento
fluxo entre o projetual e o perceptivo

O desenvolvimento de uma forma padronizada de desenhar tornou necessário um conjunto de regras que expressam graficamente a construção de objetos e organizam informações provenientes de diversas áreas do conhecimento. Este conjunto normativo abriga-se sob o termo desenho técnico, que é uma ferramenta básica da engenharia.

O desenho técnico é um tipo de desenho que se move entre a idealização do real e também em sentido contrário. De facto, o desenho técnico tanto pode ser usado para a normalização da realidade como, em atividades ditas de projeto, de realização que parte de ideais. O seu uso percorre todo o círculo que esquematizamos entre o real e o ideal.

O desenho técnico participa do projeto reducionista da ciência e, portanto, produz uma síntese da realidade. Assim, traz para o primeiro plano as variáveis importantes para o processo de pensamento e busca clareza. Livra-se de qualquer coisa espúria, extra, desnecessária. Quaisquer linhas preparatórias ou auxiliares sem poder explicativo são excluídas, mesmo que essas linhas tenham sido instrumentais para o processo de pensamento. Se revelarem-se desnecessárias, certamente não aparecerão no desenho final. Neste particular é antagónico com o desenho artístico, onde o resíduo, a marca, a “estória” do desenho é valorizada no processo e no resultado.

A normatividade do desenho técnico é essencial para a sua natureza de ferramenta que percorre todo o círculo real/ideal. Essa normatividade surge com o processo de standardização necessário à otimização dos processos industriais. A introdução do sistema métrico e o surgimento de organizações dedicadas à padronização e medição em todos os países europeus é um fenómeno do início do século XX. Essas instituições nacionais publicaram padrões válidos no seu país de origem, mas, após a Segunda Guerra Mundial, coalesceram em organizações internacionais como a ISO (International Organization for Standardization), que desenvolveu regulamentos internacionais de desenho técnico. Na década de 1920 foram publicadas as primeiras normas nacionais do mundo: a DIN 6 foi publicada em 1922 e a BS308 em 1927 (Griffiths, 2003, p. 3). A ISO 128 evoluiu em diálogo com essas e outras normas nacionais e teve sua última grande revisão em 2020.

O ensino também se tornou mais sofisticado e complexo, e a aprendizagem foi organizada em escolas técnicas. O desenho técnico forneceu uma base transnacional de partilha de conhecimento e de homogeneização de currículos e formação técnica, como mostra o exemplo da Fig. 7 retirado de um exame de engenharia mecânica da FEUP, onde o desenho se move constantemente entre o real e o ideal, conforme é um desenho de um objeto ou um projeto concetual, podendo mesmo ter os dois papéis sucessivamente em várias fases de projeto/produção.

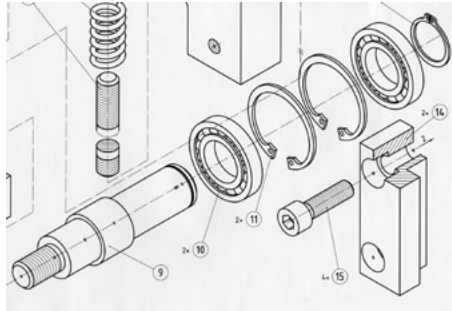


Fig 7 (Pormenor da imagem 14) – Enunciado
(conjunto em vista isométrica explodida).

A engenharia é uma atividade que faz uso dos princípios científicos para projetar e construir objetos no mundo: edifícios, estruturas, máquinas, computadores, etc. Deste modo, tem uma natureza dupla de projeto, mas sempre com o objetivo de realização física dos objetos que projeta. Assim, o desenho técnico como ferramenta posiciona-se naturalmente de forma simultânea nos dois planos: o ideal e o real, adapta-se de sobremaneira ao modo de funcionamento da engenharia.

Adicionalmente, a qualidade estandardizada do desenho técnico torna-se o cenário que permite a manutenção do fluxo entre o projetual e o percetual, entre o ideal e o real. A estandardização retira tudo que seja espúrio e que possa perturbar o processo de pensamento. O desenho a todo o momento é projeto, e no momento seguinte, é o registo do real, para voltar de novo a tornar-se projeto.

Assim, à pergunta “será que se pode projetar sem saber desenhar?” (imagens 4, 7, 10, 11, 12) que formulamos na introdução só podemos responder negativamente. Numa atividade como engenharia que se foca na conceção dum projeto e subsequente da sua realização, o desenho está presente em todas as fases. Desde a fase mental à co-

municação final. Podemos mesmo afirmar que o processo de desenho mimetiza o processo mental necessário ao processo de engenharia.

Evidentemente, na segunda questão que levantamos – Que sentido faz o desenho e saber desenhar nas áreas da engenharia? – fica claro que a resposta é afirmativa sendo mesmo difícil de perceber como poderia ser de outro modo.

Referências

- Edwards, B. (1979). *Aprender a dibujar*. Madrid, Hermann Blume, 1984.
- Fergusson, E. (2001). *Engineering and the Mind's Eye*. Massachusetts: MIT Press.
- Griffiths, B. (2003). *Engineering Drawing for Manufacture*. Elsevier Science & Technology Books.
- Mackenzie, A. (2002). *Transductions: Bodies and machines at speed*. London and New York: Continuum.
- Marshall, C. (2022, June). *Leonardo da Vinci's Handwritten Resume (1482)*. Acessível em: <https://www.openculture.com/2014/01/leonardo-da-vincis-handwritten-resume-1482.html>
- Mazur, E (2022) *Principles & Practice of Physics*. Pearson
- Sweller, J. (1988). *Cognitive Load During Problem Solving: Effects on Learning*. Acessível em: https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1207/s15516709cog1202_4
- Ruskin, J. (1912). *The Elements of Drawing*. New York: E.P. Dutton & Co.

RECONHECIMENTO

Agradecemos às Professoras Ana Sofia Gonçalves, Bárbara Rangel, Cidália Botelho, Diana Urbano, Fátima Chousal, aos Professores José Almacinha, José Carlos Alves, José Silva Matos, José Fernando Oliveira da Faculdade de Engenharia e à Professora Sofia Castro Gothen da Faculdade de Economia pelo contributo que deram para a concretização deste trabalho.

*Drawing, creativity and communication.
The importance of drawing in engineering*

Sílvia Simões, Pedro Alegria

Drawing as an indispensable tool for Engineering

We live in an increasingly technological society where the speed of creation and access to information are running rampant, and where we are bombarded by millions of images we consume and produce. In this context of ease of production and access to images, we wonder how the teaching of drawing has responded to this speed and virtual challenge, as opposed to the time of observation, correction, and error implicit in the act of drawing. Aware that thinking about technology also means thinking about the issues of our time – *thinking about thought*, as Adrian Mackenzie (2002) states – there is an urgent need to verify whether the teaching models – in contexts where digital technology is increasingly present as a means of training and communication – are able to promote transformations in learning, beyond potential changes in the operational models of image creation and production.

Does it make sense to insist on the teaching of drawing? Can one design a project without knowing how to draw? What type of drawings are we referring to and teaching? What is the significance of drawing and knowing how to draw in the field of engineering? These are the structural questions for this collection and reflection within the framework of the DRAWinU research project, aiming to identify close relationships to the ways and forms in which the sciences and arts apply drawing as a way of knowing in engineering.

One of the primary goals of this study is to achieve a more comprehensive understanding of the relationship between students, researchers, and teachers at the University of Porto with the activity of drawing. This involves understanding its uses and operative modes for developing new learning strategies and research skills in higher education. We are focused not only on the impacts of learning and promoting creative thinking, visual and spatial reasoning, but also on project methodologies and the dissemination of knowledge through drawing. The DRAWinU project aims to conduct the study in the research centres and classrooms at the Faculties of the University of Porto (UP), providing a context in which drawing can be assessed within a common framework of STEAM areas (Science, Technology, Engineering, Art, and Mathematics).

In order to make the research more focused and consistent, it was divided into areas of knowledge, with the authors taking responsibility for the field of engineering, which encompasses various specific fields of knowledge. Due to the diverse range of the programs offered at the Faculty of Engineering, we have not yet been able to complete the survey of all 14 scientific areas. Therefore, we have focused on the fields of mechanical engineering, civil engineering, electronics and computer engineering, robotics, chemistry, physics, and industrial engineering management, hoping that upon the completion of the research project, we will have images of drawings representative of all areas available in the archive. This interaction between different backgrounds facilitates the perception of differences and allows us to find common ground among them.

The university is at the forefront of the technical education institutions that aim to equip students to deal with present and future technologies, making the field of engineering the desired object of study. For those who, like ourselves, perceive drawing as a universal tool that fosters change, we find engineering a particularly fertile ground to gather and organise information ranging from the nature of the image archive to testimonies that allow us to assume that drawing continues to be fundamental for teaching in the STEAM areas.

The scientification of drawing

Drawing is a tool that has been used since ancient times. Throughout human history, there was no distinction between drawings used for technical purposes and drawings made for artistic or other purposes. The famous case of Leonardo da Vinci exemplifies this lack of distinction: in a letter to Ludovico Sforza, he extensively presents himself as a hydraulic and military engineer, briefly mentioning his ability to “[...] *execute sculpture in marble, bronze and clay. Likewise in painting* [...]” (Marshall, 2022). The division between artistic and technical drawing was gradual but crucial in turning drawing into an engineering tool. Nowadays, there is an obvious difference in the nature of technical and artistic drawings.

Throughout history, the activity of drawing has also reflected the dominant paradigms of thought. There have been four major moments in Western thought since antiquity: the first can be identified with Platonism and has a rationalist/idealistic basis that roughly aligns with the views of the Neoplatonic current from the Church up to the Renaissance. In this period, drawing and painting were primarily aimed at representing ideas rather than depicting concrete objects, which is why highly stylised figures are often found in churches: the real world was considered imperfect and, therefore, not a good subject to represent. Reality was conceived as Euclidean geometry, based on ideal premises taken as true in the real world, that is, the world of ideas. This empirical tendency still influences both science and drawing to this day and reached its peak during the Enlightenment and its positivist developments in the 19th century. In the 18th century, confidence that the achievement of knowledge was within reach of individuals reached its highest point. In drawing and representation, this confidence is still very much present in John Ruskin’s teaching based on the concept of the “innocent eye”, which assumes an objective power of observation and where “the perception of those flat patches of colour, merely as such, without awareness of what they mean - as a blind man would see them if he were suddenly endowed with sight.” (Ruskin, 1912, p. 3). Betty Edwards explained this position based on the neurobiological functions of the brain’s hemispheres (1979). At the end of the 19th century, a more pragmatic *ethos* emerged, influenced by socialist movements and psychological sciences that recognised the individual as a force that influences everything. The perception that

representation depended on how it had been made and, therefore, could potentially be false or subjective prompted a search for “objective” representation methods. Hence, the efforts of clarification culminated in geometric representation methods, such as Gaspard Monge’s *Géométrie Descriptive*. In science, the myth of the impartial observer or the existence of closed systems weakened, and in the mid-20th century, a more human view of the construction of science was accepted. Subjective expressionism was born: the expression of one’s identity and individuality in the context of mass movements became a driving force for artists. The elevation of subjectivity above objectivity gave rise to the acceptance of drawing with distortions as a more authentic reflection of the author’s individuality. The artistic movement known as Modernism emerged, moving away from the imperative of accurately representing the visual world and adopting the idea of art as a truer representation of the individual. Of course, these events undermined communication, clarity and standardisation and thus began the separation of technical drawing from artistic drawing in reflection of the separation between art and science. The 20th century has brought structuralism and its post-structuralist developments, which questioned the possibility of objectively knowing anything. This is commonly referred to as the constructivist view, according to which only interpretations of the world can be reached. Relativism and semiotic dialogue are always present in representations of the world. They have to do not only with each individual’s inadequacies in performing the task but also with transcultural practices of others that must be recognised as legitimate. Although several attempts were made by Popper, Kuhn, Feyerabend, and Bunge in the 20th century to address this issue, they served only to alert us to blind spots. They did not substantially alter everyday scientific life, except in the ethics of science field.

In the 21st century, no one can claim the innocence of the eye, and the impact of one’s actions on others must always be considered. Still, the pursuit of objectivity in technical drawing, like in science, continues in a largely pre-constructivist *ethos*.

The communicative nature of drawing

The definition of what is meant by drawing can be ambiguous. Much of this ambiguity stems from the diversity of its functions, the area of knowledge it works in, the materials and mediums it uses, and its purposes. Not all drawings hold the same function or start from the same statement, and different results are, therefore, to be expected. Therefore, it is essential first to define what we are referring to when we mention drawing in the context of this text and what we are interested in presenting in its relationship with the field of engineering. How is communication established, and how do we communicate drawing in the arts and engineering in such different ways?

Drawing is a graphic medium with which we embody ideas from the ordinary conceptual world, providing a link between representation and presentation. Over the centuries, drawing achieved a position within the visualisation of artistic, scientific, and theoretical exploration that sets it apart from other forms of communication. The ability to use images of what we construct mentally means that drawing is summoned to record and inscribe ideas without adhering to a grammatical or syntactic structure. It can be organised as a non-linear alternative to more discursive forms of communication while maintaining a degree of objectivity and relevance.

As mentioned earlier, not all drawings have the same origin. Some arise from the need to write down ideas as if they were notes; others are intended to solve the problem of constructing a boat, a house, or an idea (Fig. 1) (images 4 and 7).



Fig 1. José Carlos Alves, *Drawings for the robotic sailboat EAST project. "FEUP Autonomous Sailboat"*, 2007.

Another type of drawing arises from the need to test and prove theories, create alternatives and present evidence. An example of this is the drawing in Fig. 2, which, following verification of its accuracy, featured in a scientific article (Fig.3). In this case, drawing serves two functions: on the one hand, drawing is the instrument through which we seek answers to problems; on the other hand, it is how we illustrate and synthesise that same knowledge. We have, therefore, two different representations of the same object, each corresponding to different operations, functions, and ways of representing.



Fig. 2 – Begoña Alarcón, *Phase diagram*, 2021.

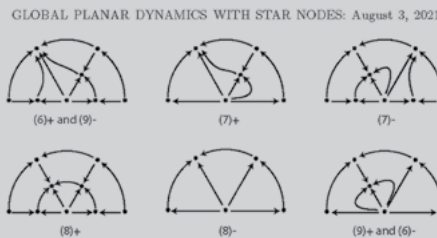


Fig. 3 – Begoña Alarcón, Sofia B.S.D. Castro, Isabel S. Laboriau, *Phase diagram*, 2021.

If drawing is often the tool that makes thinking visible, it can be used to structure new problems, creating space for new knowledge and functioning as a *search engine* that poses questions and seeks answers. Fergusson (Engineering and the Mind's Eye, 2001) discusses the relationship between thinking with images - *the Mind's Eye* - in the field of engineering, and the need to draw to translate those brain images into visible images for all. He states that most of the information taught in engineering is conveyed through drawings. In engineering, the message must be conveyed objectively, and this is where drawing serves as a language capable of translating and communicating thought into an image, as if it were a *lingua franca* (images 2, 8, 10, 13 and 14).

“Visual thinking is necessary for engineering. A major part of engineering information is recorded and transmitted in a visual language that is in effect the lingua franca of engineers in the modern world. It is the language that permits “readers” of technologically explicit and detailed drawings to visualise the forms, the proportions, and the interrelationships of the elements that make up the object depicted. It is the language in which designers explain to makers exactly what they want them to construct.” (Fergusson, 2001, p. 41)

We may thus state that drawing is the act of establishing knowledge, simultaneously occupying the spaces of conceptualisation, formalisation, and communication, with the intention of displaying an image. With its hybrid nature, drawing blurs boundaries and demands categorisation to understand better what constitutes a drawing and what does not.

In general, when discussing drawing, people immediately think of art. Over the two years we have collected drawings in the university context, we have often heard colleagues say phrases such as: “We don’t draw” or “I make some lines to explain, but they are not drawings; they are just schemes, diagrams”. Well, as we shall see throughout this work, such statements are inaccurate, and the importance and presence of drawing in the field of engineering is as relevant as it is fundamental.

To teach is to unveil a path of inquiry, doubt, and questioning. As a tool for graphic mediation and visual thinking, drawing has the potential to encourage and develop a critical reflection on the very process. It plays a fundamental pedagogical role in critical and creative development. Drawing can be a useful instrument to aid thinking,

searching, and solidifying ideas. As Professor of Physics Engineering Diana Urbano mentioned in an informal conversation, drawing is crucial for learning physics. According to the theory of cognitive load¹ (Sweller, 1988), drawings, diagrams, and graphs help present information that encourages learning activities and optimises intellectual performance, thereby reducing the cognitive load used in learning. Images aggregate and synthesise various types of information, making it easier to comprehend and remember in the long term and creating an empathetic relationship with learning. This is why physics textbooks, in addition to formulas and text, primarily feature illustrations.

Visual thinking begins not with drawing on paper but with the act of seeing. So far, no other tool allows us to project what inhabits the ethereal world of ideas. Contrary to common perception, visual thinking does not depend on our ability to draw but instead on our ability to see. Whether consciously or unconsciously, seeing undertakes an act of organising and establishing relationships. Most of us hold this ability and have always used it to understand our surroundings. This understanding and pattern recognition allows us to establish connections between what we see and what we do not see, making it possible both to access the realm of imagination and understand the real world.

Drawing as a tool for building thought in science

The scientific observation of reality is reductionist: the analysis of the world is carried out to isolate the relevant variables and then model how they affect the outcome of the system. Therefore, the act of observing the world and synthesising its relevant aspects is paramount to the subsequent understanding of its functioning and the development of theories.

1 The theory of cognitive load helps us understand how people typically learn and store new information, as well as the types of instructional practices that best support learning. It is based on the characteristics of working memory and long-term memory and their mutual relationships to explain how people learn. The theory of cognitive load emerged in the late 1980s from the work of John Sweller and his colleagues.

Drawing is a tool that, due to its inherently interpretive nature, is exceptionally well-suited to this synthetic process. These graphic annotations help interpret the problem in the light of one's own knowledge and experience, enabling critical dialogue between what was initially a mental image, thus allowing the production of a meaningful understanding, organisation, and systematisation of information. Without drawing, which allows for the capture of an idea, the confrontation and selection of existing possibilities become challenging.

As Mazur says, vision is the sense that informs the mind the most:

Of all our senses, vision may be the one that most informs our mind. For this reason, expert problem solvers rarely start working on a problem without first making some sort of visual representation of the available information, and you should always do the same. Such a drawing helps you establish a clear mental image of the situation, interpret the problem in light of your knowledge and experience, develop a qualitative understanding of the problem, and organise the information in a meaningful way. Without the drawing, you have to juggle all the information in your head. (Mazur, E., 2022, pp.27)

This importance of drawing in facilitating the manipulation of information in the mind is instrumental to every process related to the sciences and, to a greater extent, to the field of engineering. In fact, engineering is a field in which drawing can be either descriptive or projective at any given moment, transitioning fluidly between these two states. This is what gives it strength as a mental tool and simultaneously as a teaching/learning tool.

In some way, it is about providing a space for the struggle between the projective and the perceptual or, should we prefer to adopt the old platonic terms: between the ideal and the real. The importance of drawing in engineering lies precisely in being the arena, the coliseum, the stage for this struggle, the constant flow between what was conceived and what was done, two complementary natures. It is precisely its capability to remain between the two sides of this dichotomy that gives it all its power as an engineering tool. When drawing takes on one of these natures, it becomes illustrative, finalises, and becomes a result, the fossil of the thought process.

Schemes and diagrams obviously have a synthetic nature, but their production is not merely a visual achievement; it is primarily an intellectual process. It is in this dialogical process that knowledge is

generated. It is a virtuous circle where the projective transforms into the perceptual: where the ideal learned allows itself to be identified in the perceived real.

At every moment, the knowledge acquired shapes and influences the results perceived by the eye because it interprets what is seen and informs the selection of the relevant parts. Prior knowledge is also important in evaluating the outcomes, influencing how students adapt their learned knowledge to the specimen before them.

As seen in Fig. 4, this virtuous circle is a crucial foundation for the scientific learning process.



Fig. 4 - *Virtuous circle of dialogue between the real and the ideal.*

We can divide this circle into two parts: the first, which we can call *making the ideal real*, places the subject in confrontation with the real object, in a relationship of understanding where their prior knowledge combines with the observed reality. The exercise aims to make the ideal object, that which is learned, a reality. At this moment, the concrete figure – the drawing – becomes the locus where the ideal is accomplished. For example, when a student draws a corridor in perspective, as can be seen in Fig. 5 (Image 13), they do not merely mimic the real object; instead, they interpret the natural world through the framework of linear perspective, applying a set of previously learned concepts, such as the horizon line, vanishing point, and so on, which shape the drawing from its very inception. The figure produced is an instance, a concrete example of the ideal concept realised in a visual form. Unlike a photographic record that captures and records all the information present at the moment, a drawing is a selective representation that emphasises the relevant information from the observed.

To construct this, students need to grasp the relevant concepts and select the parts of the ideal concept in reality. In doing so, students

demonstrate the ability to apply knowledge in a practical situation, assimilation and accommodation (Jean Piaget), the power of synthesis, and the ability to select the parts of the concept pertinent to reality. Furthermore, the teacher can assess, critique and correct this process at every stage.

As drawing is always a production of abstract reductionist discourse, when students create a drawing in the classroom, they make choices and select the relevant variables. Their work can be assessed in this task and guided in the right direction if necessary.

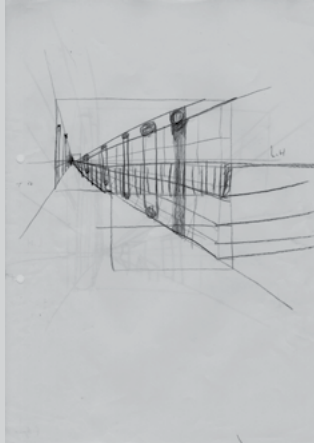


Fig. 5- F. Aguiar, *Drawing of interior spaces at FEUP*, s.d.

The second phase, which we can call “idealising the real”, corresponds to the part of the scientific process that involves the creation of models or theories about reality. Starting from a set of characteristics of the real, here referred to as “figure”, a process of thinking, synthesising and reducing the variables takes place, aiming to extract and synthesise the real, resulting in a reduction: idealising it. In this way, the idealised is constructed, which, once again, as a synthesis of the real, can be evaluated, critiqued, and corrected by peers in the relevant field of science. This moment is also very important for the learning process because it is when students internalise the model and the theory, enabling them to make successive attempts that may lead to improved outcomes. As seen in Fig. 6, an ideal model of a real circuit serves for a student to demonstrate their mastery of Kirchhoff’s laws, which are themselves a model of the operation of electronic circuits.

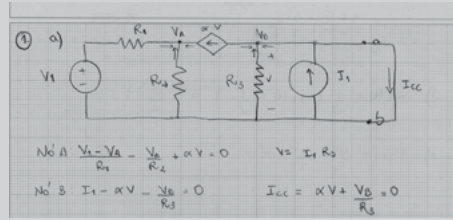


Fig. 6 ARABIC 4 - Kirchoff's Law Diagram, s.d.

The idealisation of the real is then linked to synthesis, modelling, and theoretical construction, and in the concrete field of drawing, to standardisation. The development of various types of graphic notation, illustration and technical drawing practices are clear examples of this.

By deploying this structuring, we may now make a non-exhaustive attempt to classify the collected drawings according to their inclination towards a specific location in the virtuous circle between the ideal and the real.

In what we refer to as “Idealising the real”, we consider all drawings that aim to reduce the real to a limited set of variables to model the real, simplifying it. This goal is accomplished in notational diagrams through a rigid and universal notation for all agents, as seen in some of the collected examples. The electrical schemes, circuits, chemical diagrams, molecular models, Jablonski diagrams, kinematic diagrams, flowcharts, block diagrams, geometry, mathematical calculations, and mimetic diagrams achieve this goal through schemes that somehow mimic the real in a simplified way and therefore rely on strict standards of representation: plans, elevations, sections, 3D simulations, illustrations of procedures, instruction drawings, exploded views, overview drawings, among others that we did not identify in the set of drawings collected and are therefore not named.

In what we understand as “making the ideal real”, we inventoried every drawing that starts with a direct observation of the real and seeks to represent it within a pre-existing system. In general, these are observational drawings made according to a standard without losing the real as their reference. Examples include observational drawing, annotation drawing, scientific drawing, perspective drawing, and technical drawing.

The difference between these two groups lies in the fact that the first group can be created without direct reference to a real case, as they are drawings that exist as models of the real and remain au-

tonomous from it; they work on an idealised version of the real. The second group can never be detached from the real; they work with the form as if it were the ideal, the model, the system applied to a real case. They are the graphic realisation of a specific system applied to reality.

Despite the simplified distribution between these two great *nuclei* – idealisation/realisation – the frontiers are not so rigid, and the ways of communicating through drawing take place, both with oneself and with others, depending on its function. Drawing is a vehicle that, like other forms of communication, depends on several variables, such as capability, skill, and knowledge. How? For what? And for whom? Do we intend to represent our ideas, concepts, and understanding of the world? We are aware that we are conditioned by a set of factors that interfere decisively with our communication, limiting our ability to translate the world of ideas into the world of presentation. It is precisely this dialogical relationship between the different applications of drawing throughout this project that feeds the thought/drawing and mental/project process that we encounter in permanent flux throughout the virtuous circle (Fig. 4) that interlinks the real with the ideal, the whole and the synthesis, the world and the model, so fundamental to thinking in engineering.

The technical drawing as a flowing tool between the projectual and the perceptive

The development of a standardised way of drawing has made it necessary to have a set of rules that graphically express the construction of objects and organise information from several fields of knowledge. This normative set of rules is housed under the term “technical drawing”, a fundamental engineering tool.

Technical drawing is a type of drawing that moves between the idealisation of the real and in the opposite direction as well. In fact, technical drawing can be used for both the standardisation of reality and – in so-called project activities – for the implementation that starts out from ideals. Its use covers the entire circle we have outlined between the real and the ideal.

Technical drawing is part of the reductionist approach in science and thus produces a synthesis of reality. It brings the important variables for the thinking process to the forefront and strives for clarity. It disposes of anything extraneous and unnecessary. Any preparatory or auxiliary lines without explanatory power are excluded, even if those lines were instrumental in the thinking process. They will certainly not appear in the final drawing if they turn out unnecessary. In this regard, it emerges as antagonistic to artistic drawing, in which the residue, mark, and “story” of the drawing are valued in both the process and the result.

The normativity of technical drawing is essential to its nature as a tool that covers the entire real/ideal circle. This normativity arises with the standardisation process needed for optimising industrial processes. The introduction of the metric system and the emergence of organisations dedicated to standardisation and measurement in every European country is a phenomenon from the early 20th century. These national institutions published standards valid in their home countries. Still, after World War II, they merged into international organisations like ISO (International Organization for Standardization), which developed international regulations for technical drawing. In the 1920s, the world’s first national standards were published: DIN 6 was published in 1922 and BS308 in 1927 (Griffiths, 2003, p. 3). ISO 128 evolved in dialogue with these and other national standards and underwent its latest major revision in 2020.

Education became more sophisticated and complex, and learning was organised in technical schools. Technical drawing provided a transnational basis for sharing knowledge and homogenising curricula and technical training, as shown in the example in Fig. 7 taken from a mechanical engineering exam at FEUP. Here, technical drawing constantly moves between the real and the ideal, depending on whether it is a drawing of an object or a conceptual design, and it may have both roles successively in various design/production phases.

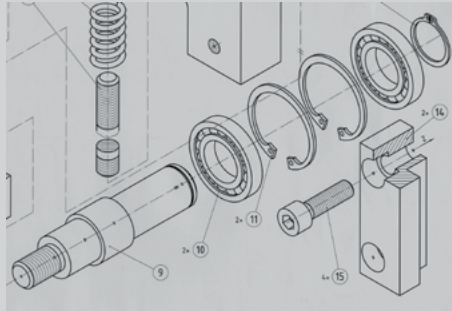


Fig. 7 (Detail of Fig.14). *Statement (assembly in exploded isometric view)*

Engineering is an activity that applies scientific principles to design and construct objects in the world: buildings, structures, machines, computers, and more. As a result, engineering has a dual nature of design, always with the goal of physically building the objects it designs. Thus, technical drawing as a tool naturally positions itself simultaneously in both the ideal and the real realms, making it highly adaptable to how engineering operates.

Additionally, the standardised quality of technical drawing is the backdrop that enables the continuous flow between the conceptual and the perceptual, between the ideal and the real. Standardisation removes anything extraneous that might disturb the thought process. Drawing is a project, then shifts to capturing the reality, only to become a project again.

Therefore, the question “Can one design and project without knowing how to draw?” (images 4, 7, 10, 11 and 12) we posed in the introduction can only be answered negatively. Drawing is present in all phases of an activity, like engineering, focusing on the conception of a project and its subsequent implementation, from the mental phase

to the final communication. We may even say that the drawing process mimics the mental process required for the engineering process.

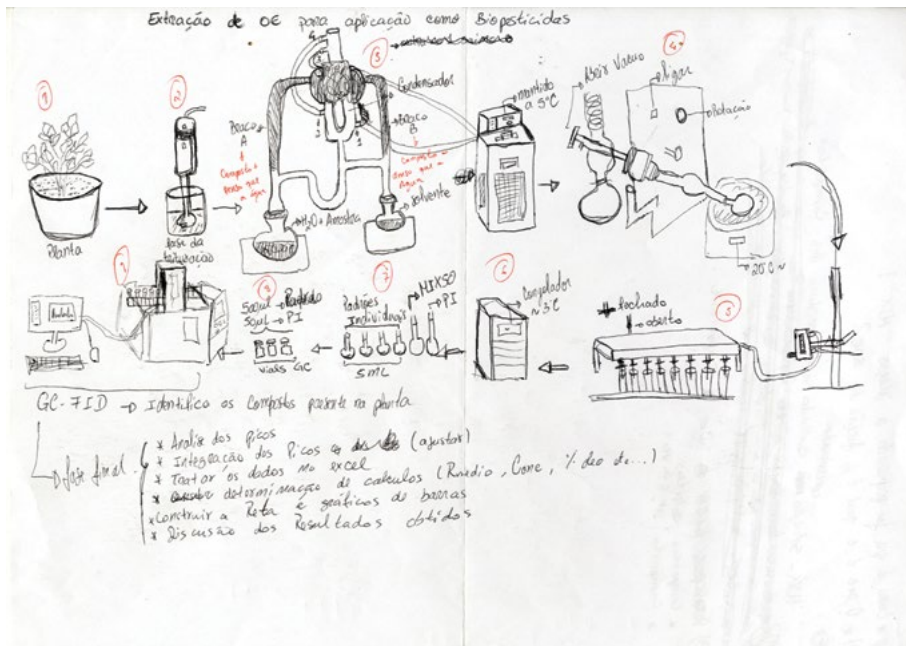
When it comes to the second question we raised, “What is the significance of drawing and of knowing how to draw in the field of engineering?” it becomes clear that the answer is affirmative. It is difficult to envision how it could be otherwise.

References

- Edwards, B. (1979). *Aprender a dibujar*. Madrid: Hermann Blume, 1984.
- Fergusson, E. (2001). *Engineering and the Mind's Eye*. Massachusetts: MIT Press.
- Griffiths, B. (2003). *Engineering Drawing for Manufacture*. Elsevier Science & Technology Books.
- Mackenzie, A. (2002). *Transductions: Bodies and machines at speed*. London and New York: Continuum.
- Marshall, C. (2022, June). *Leonardo da Vinci's Handwritten Resume (1482)*. Accessed at Open Culture: <https://www.open-culture.com/2014/01/leonardo-da-vincis-handwritten-resume-1482.html>
- Mazur, E (2022). *Principles & Practice of Physics*. Pearson
- Sweller, J. (1988). Cognitive Load During Problem Solving: Effects on Learning. Accessed at: https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1207/s15516709cog1202_4
- Ruskin, J. (1912). *The Elements of Drawing*. New York: E.P. Dutton & Co.

ACKNOWLEDGMENT

We would like to thank Ana Sofia Gonçalves, Bárbara Rangel, Cidália Botelho, Diana Urbano, Fátima Chousal, José Almacinha, José Carlos Alves, José Silva Matos, José Fernando Oliveira teachers from the Faculty of Engineering and Sofia Castro Gothen teacher from the Faculty of Economics for contribution they made to the realization of this work.



- 1 *Extração de Óleos Essenciais para Aplicação como Biopesticidas – Estratégias de Prevenção da Contaminação Ambiental / Extraction of Essential Oils for Application as Biopesticides – Strategies for Prevention of Environmental Contamination*
Edilson Barbosa, 2018

Esférográfica, marcador de ponta fina e marcador em papel

/ Ballpoint pen, fine tip marker and marker on paper, 20,6 x 29,7 cm

Mestrado Integrado em Engenharia do Ambiente / Integrated Master in Environmental Engineering. Lúcia Santos (supv.)

Departamento de Engenharia Química / Chemical Engineering Department, FEUP

$V_g = 1V$
 $R_s = 10k\Omega$
 $R_L = 100\Omega$
 $I_L = \frac{V_g}{R_s + R_L} = 1V$
 $(V = 120^\circ V)$

$P_{din} = \frac{V_L^2}{R_L} = \frac{\left(\frac{R_L \times V_g}{R_L + R_s}\right)^2}{R_L}$
 $R_L \times I_L^2$
 $I_L = \frac{V_g}{R_s + R_L}$

$P_{max} = \frac{V_g^2}{4 \times R_s}$
 $\frac{P_{din}}{P_{max}} = \frac{1}{25}$

P_{transf}
 $R_{eq} = \left(\frac{N_1}{N_2}\right)^2 \cdot R_L$

$\frac{V_1}{V_2} = \frac{N_1}{N_2} = \frac{I_2}{I_1}$
 $V_1 = 0.5V$
 $V_2 = 10k\Omega$
 $R_{eq} = 10k\Omega$

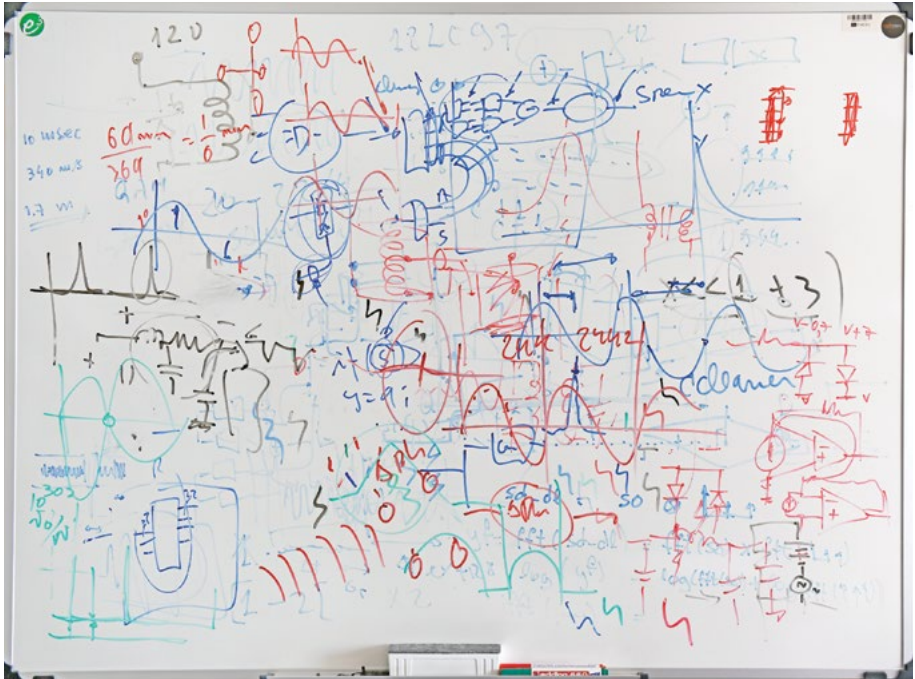
Pot. fornecida pela fonte real é máxima quando $R_{eq} = R_s$
 $\frac{N_1}{N_2} = 10$

2 *Aula sobre Circuitos (1º ano) / Class on Circuits (1st year)*

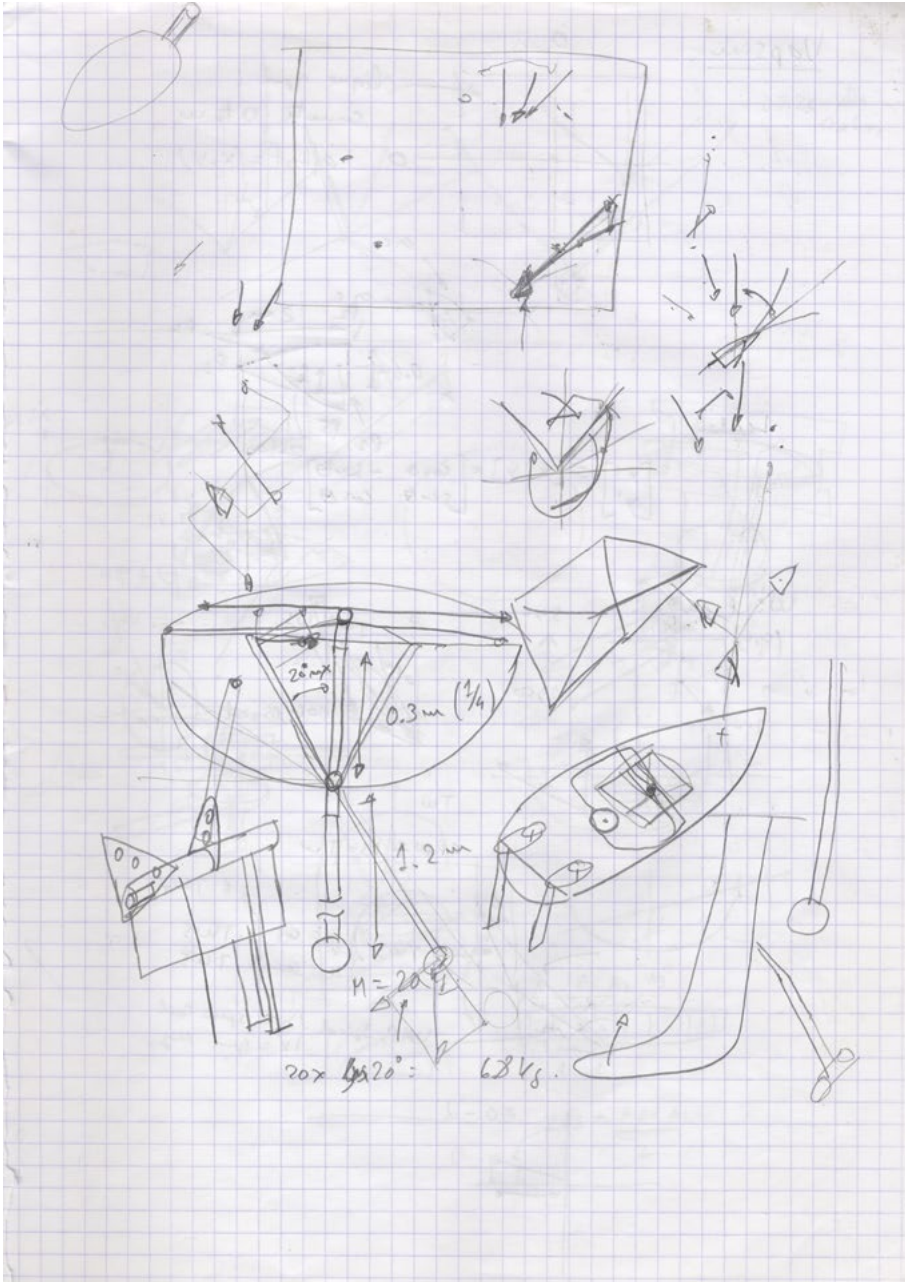
José Silva Matos, 2022

Quadro branco / White board, 125 x 160 cm

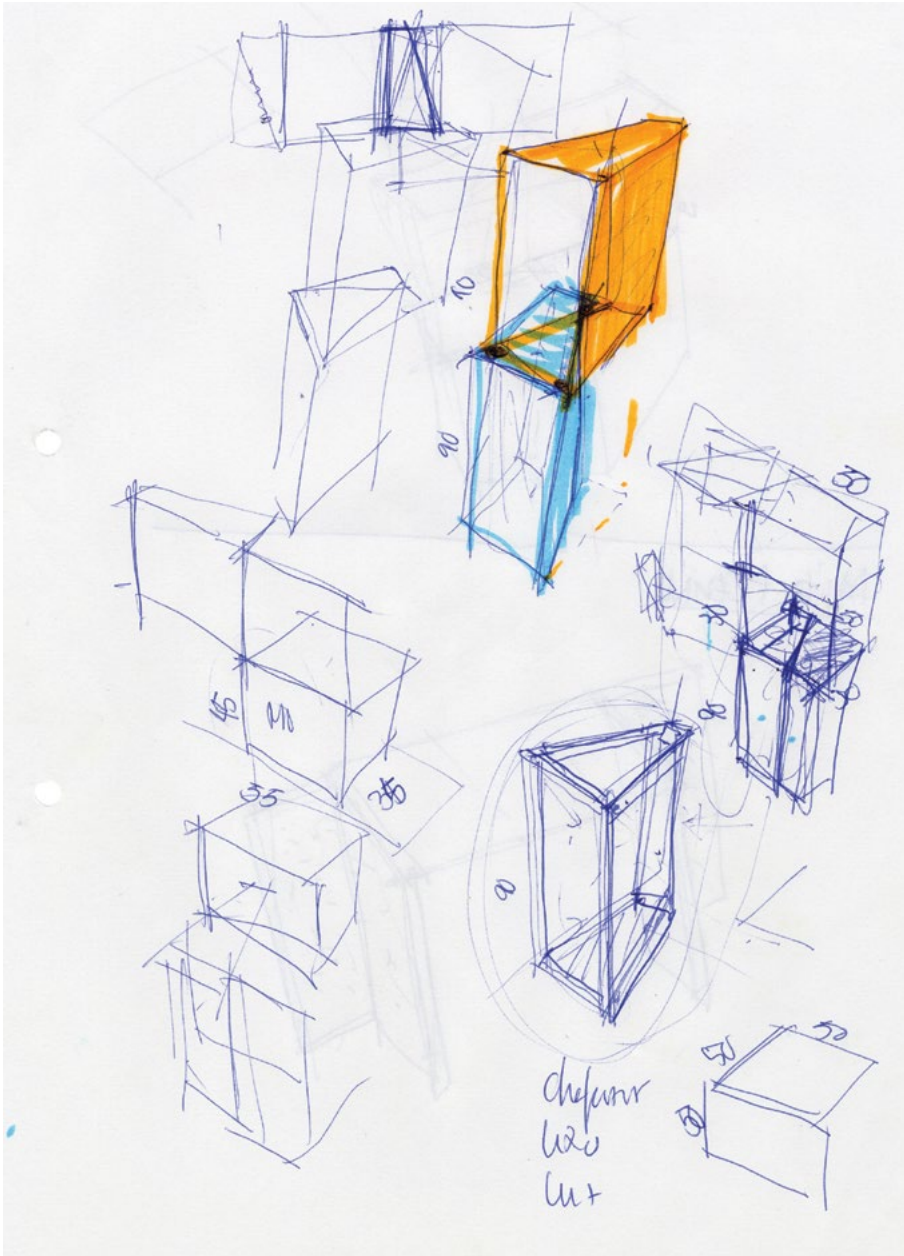
 Mestrado Integrado, Departamento de Engenharia Electrotécnica
 e de Computadores / Master Integrated in Electrical
 and Computer Engineering Department, FEUP



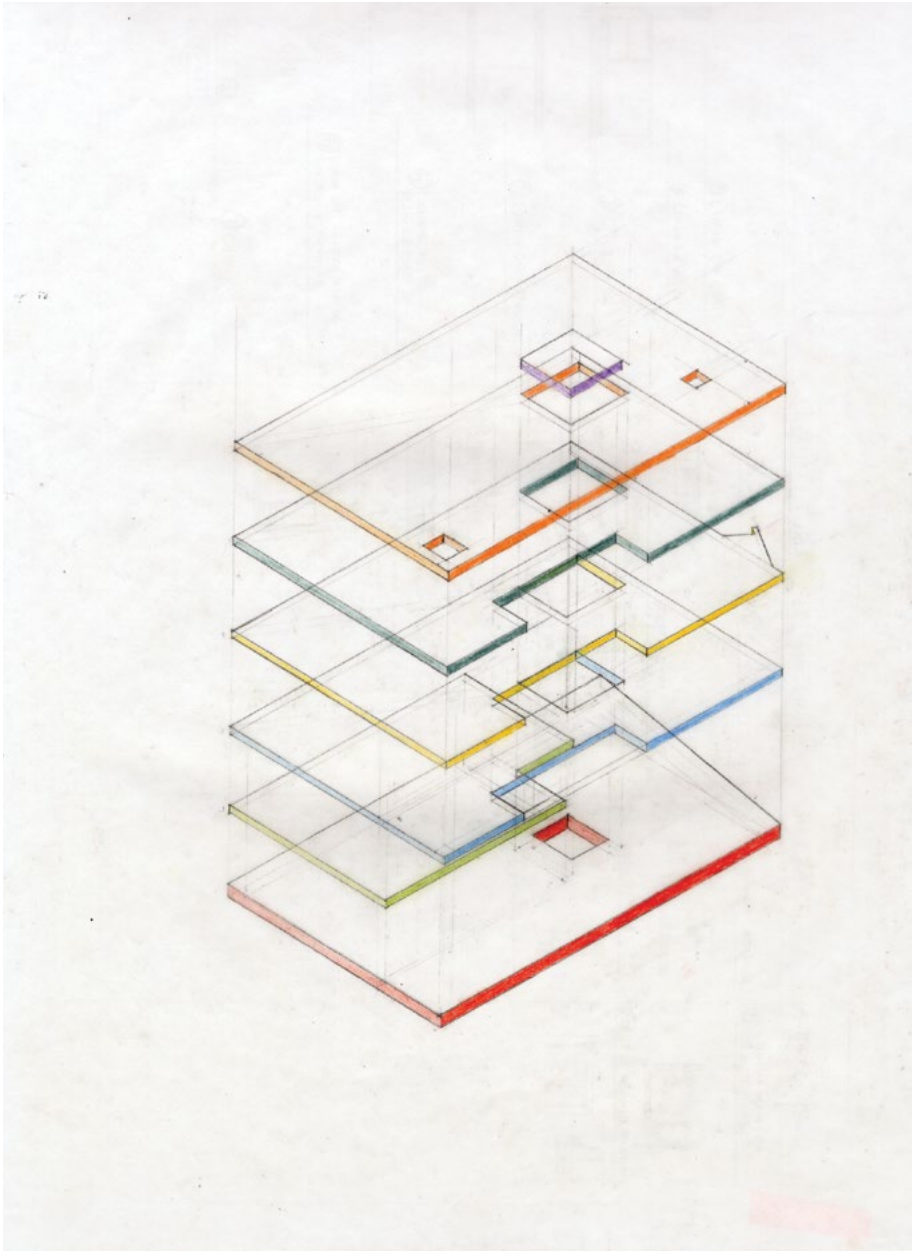
- 3 José Carlos Alves, 2022
 Quadro branco / White board, 111,5 x 155 cm
 Departamento de Engenharia Informática e Computação
 / Electrical and Computer Engineering Department, FEUP



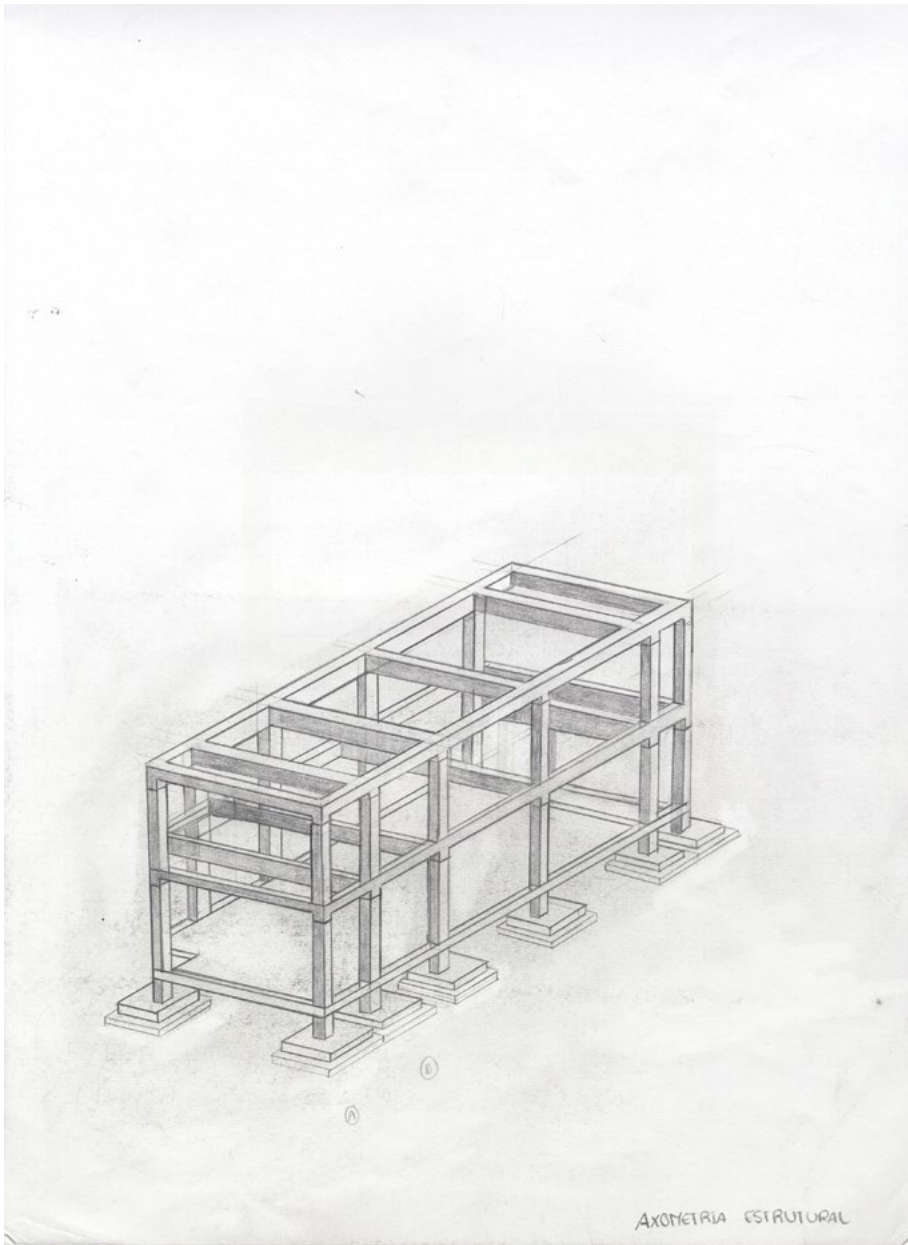
- 4 *Desenhos do Projeto do Veleiro robótico FAST / Project Drawings of the robotic sailboat FAST, "FEUP Autonomous Sailboat"*
 José Carlos Alves, 2007-08
 Grafite sobre papel / Graphite on paper, 29,7 x 21 cm
 Departamento de Engenharia Eletrotécnica e de Computadores
 / Electrical and Computer Engineering Department, FEUP



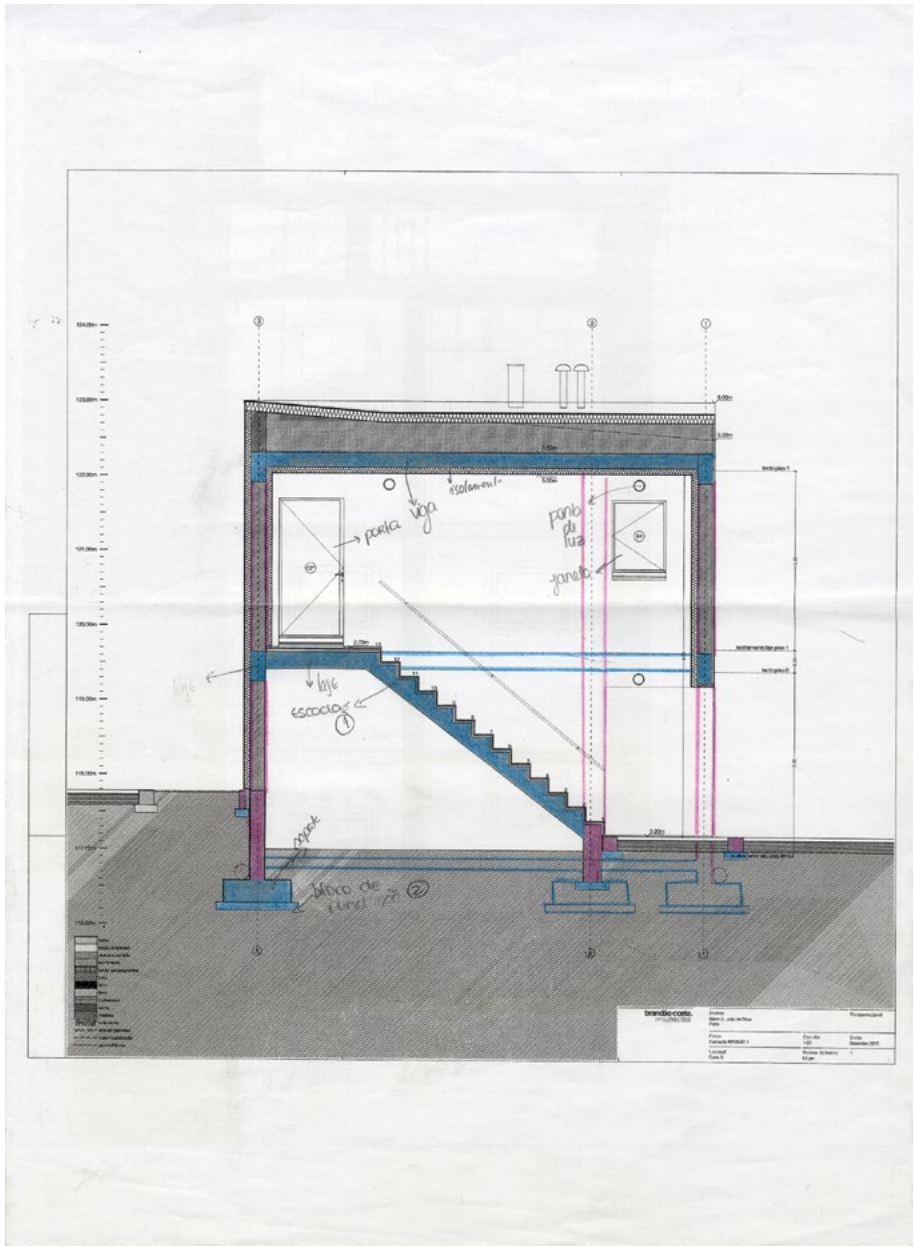
- 7 *Desenho de suporte da discussão do desenvolvimento do projeto*
/ Drawing to support the discussion of the project development
 Bárbara Rangel, 2015
 Esferográfica e marcador sobre papel
 / Ballpoint pen and marker on paper, 29,7 x 21 cm
 Mestrado Integrado em Design Industrial e de Produto, Departamento de
 Engenharia Civil / Master's Degree in Industrial and Product Design, FEUP.



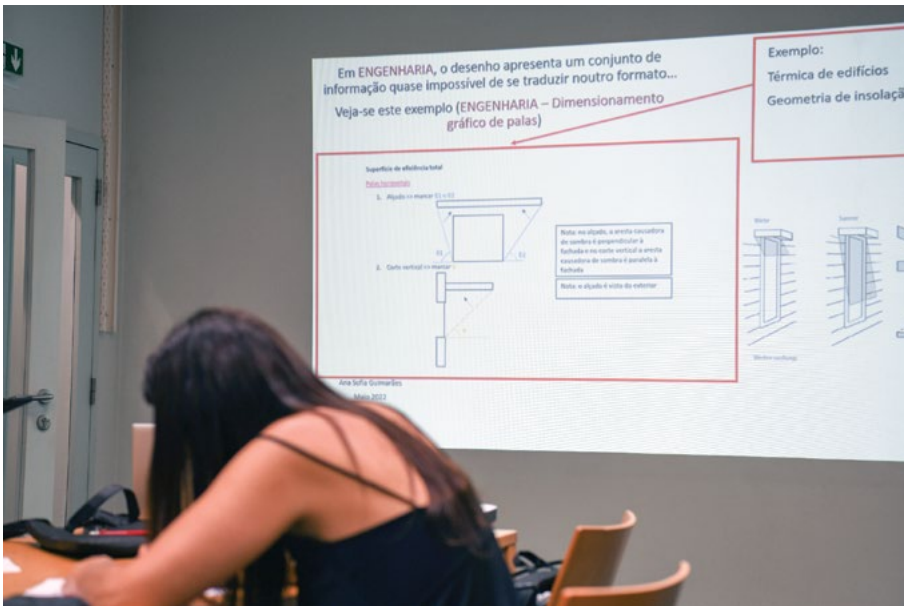
- 8 *Exercício Prático – Leitura e interpretação de projetos de arquitetura*
/ Practical exercise – Reading and interpretation of architecture projects
Duarte Nuno Sousa Ferreira, 2016
Grafite e lápis de cor sobre papel vegetal / Graphite and coloured pencil
on tracing paper, 42 x 29,7 cm
Mestrado Integrado em Engenharia Civil, Departamento de Engenharia Civil
/ Integrated Master in Civil Engineering, Civil Engineering Department, FEUP



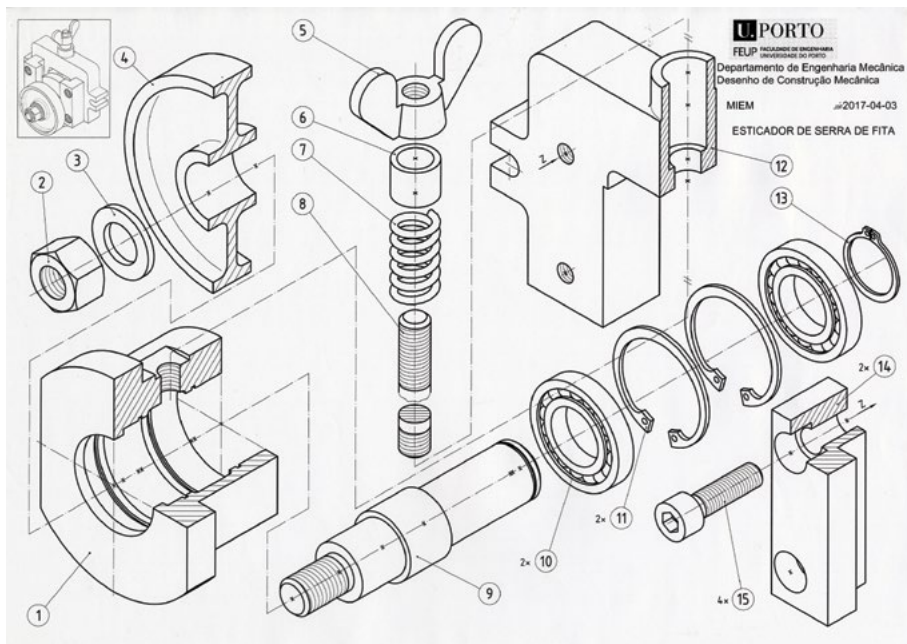
- 9 *Axonometria Estrutural / Structural Axonometrics*
Diana Isabel Varejão Teixeira, 2019
Grafite em papel / Graphite on paper, 42 x 29,7 cm
Mestrado Integrado em Engenharia Civil, Departamento de Engenharia Civil
/ Integrated Master in Civil Engineering, Civil Engineering Department, FEUP



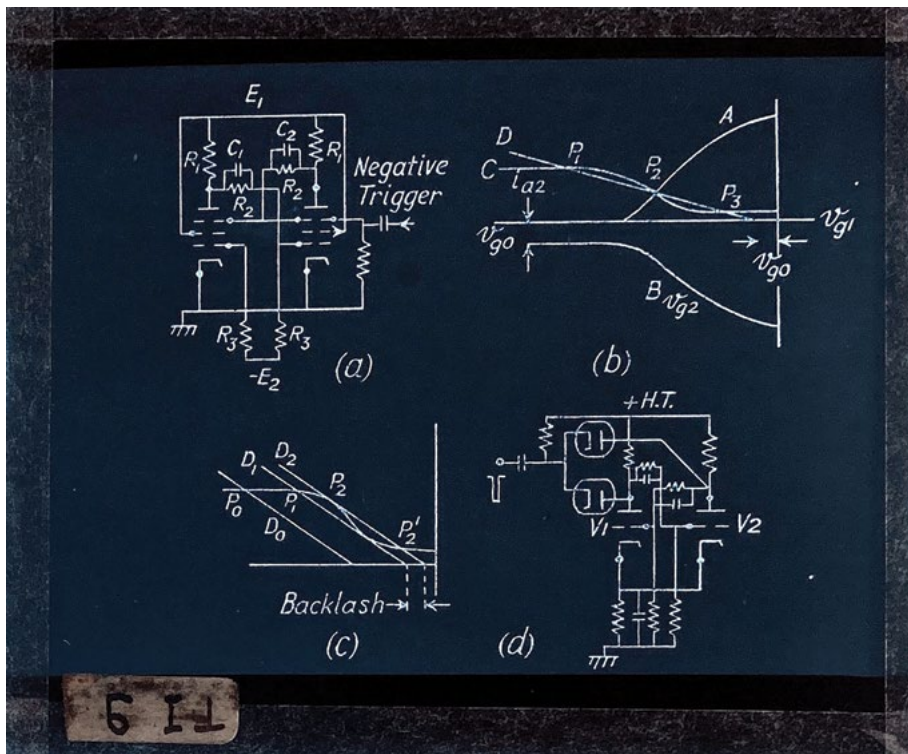
- 10 *Análise estrutural do projeto de arquitetura destacando os elementos de suporte*
/ Structural analysis of the architecture project highlighting the support elements
 Diana Isabel Varejão Teixeira, 2016
 Grafite e lápis de cor sobre desenho digital impresso em papel
 / Graphite and coloured pencil on digital printed drawing on paper, 42 x 29,7 cm
 Mestrado Integrado em Engenharia Civil, Departamento de Engenharia Civil
 / Integrated Master in Civil Engineering, Civil Engineering Department, FEUP



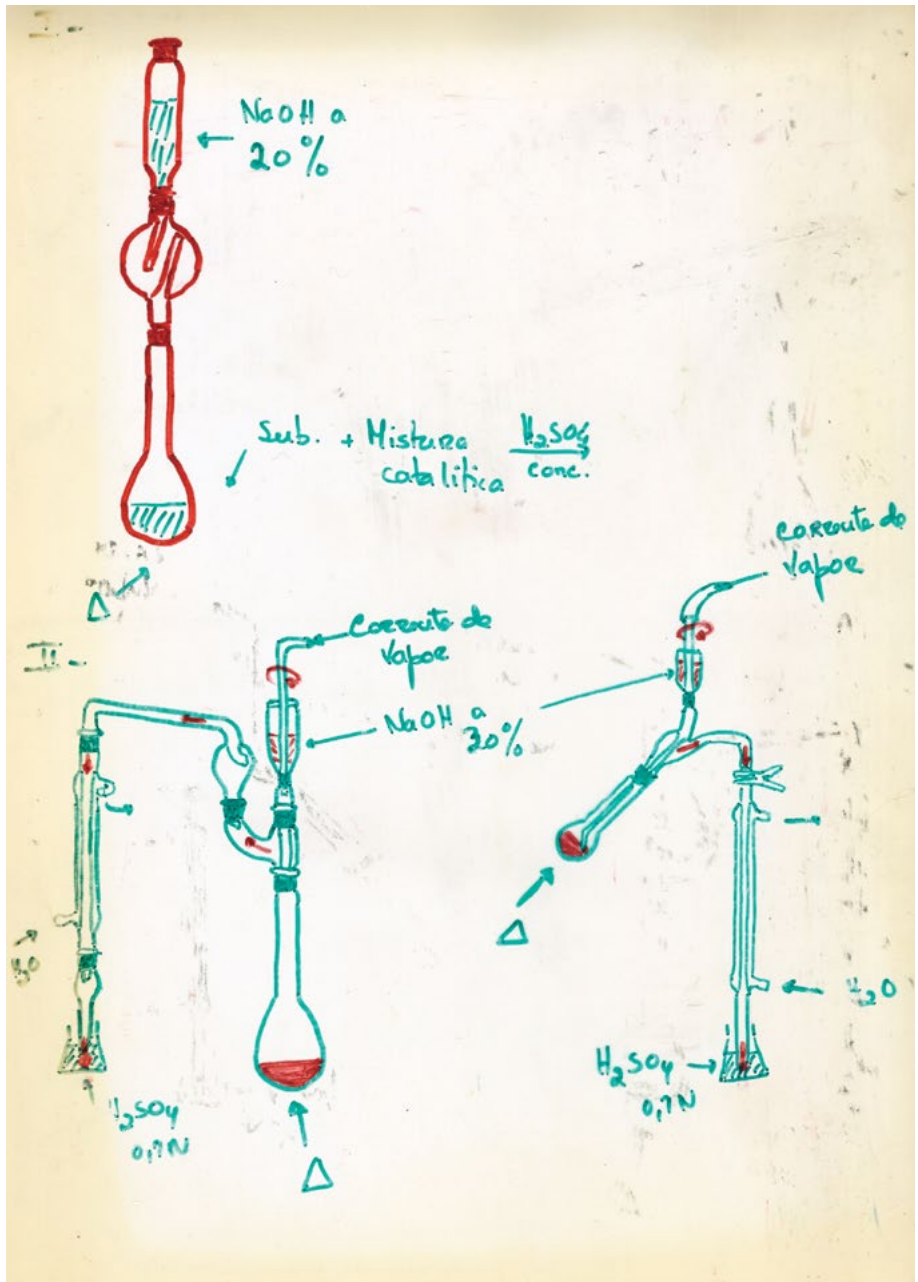
11-12 *Oficina “O Desenho entre a Arte e a Técnica”*
/ Workshop “Drawing: between art and technique”
 2022
 Fotografia / Photography
 Departamento de Engenharia Civil
 / Civil Engineering Department, FEUP



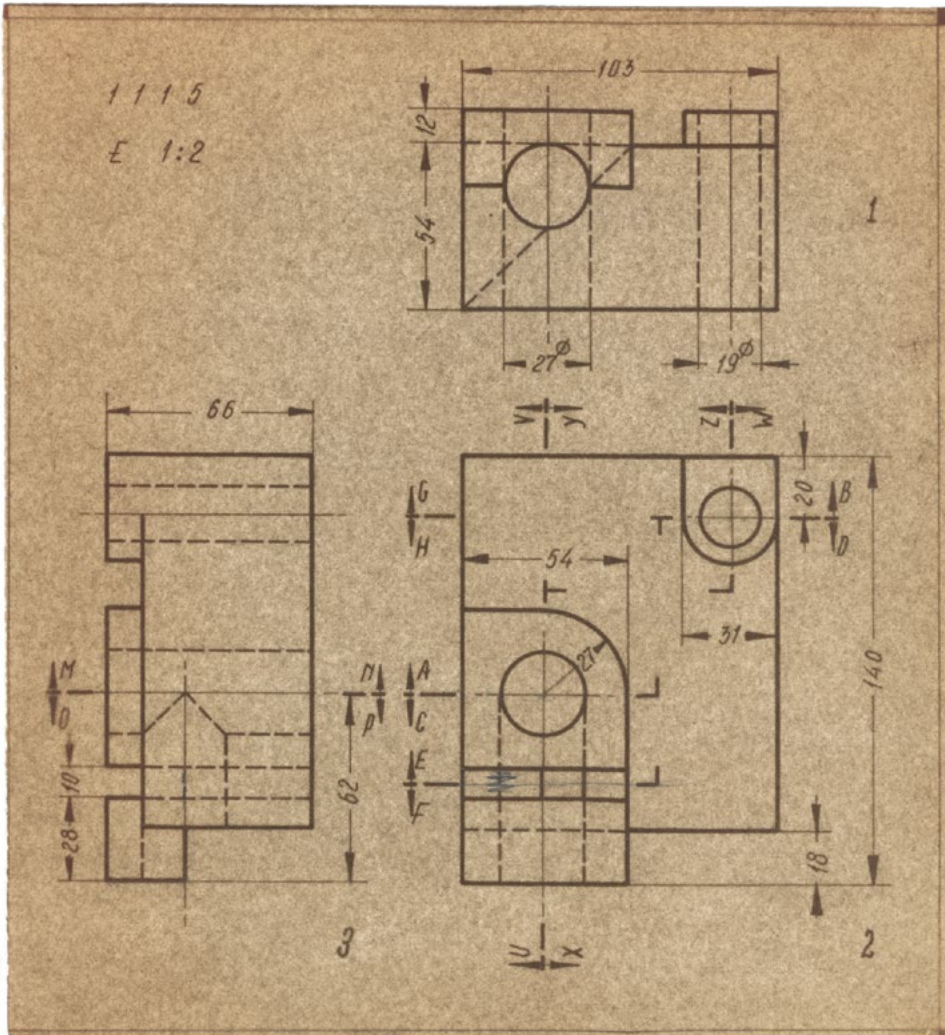
- 14 *Enunciado (conjunto em vista isométrica explodida) – 1º Teste de DCM – Parte prática – Esticador de Serra de Fita / Statement (set in exploded isometric view) – 1st Test of DCM – Practical part – Band saw stretcher*
 José António Almacinha, 2014
 Desenho digital impresso em papel
 / Printed digital drawing on paper, 296 mm x 421 mm
 Departamento de Engenharia Mecânica
 / Mechanical Engineering Department, FEUP



- 15 *Diagramas de circuitos eletrônicos*
 / *Electronic circuit diagrams, s.d.*
 Negativo em película fotográfica
 / Negative on photographic film, 8,5 x 10 cm
 Serviço de Documentação e Informação
 / Documentation and Information Service, FEUP



17 *Esquema - Química Orgânica I / Scheme - Organic Chemistry*
 Margarida Bastos, s.d.
 Marcador em acetato / Pen on acetate, 29,7 x 21 cm
 Departamento de Engenharia Química
 / Chemical Engineering Department, FEUP



- 18 *Preparatórios de Engenharia: Enunciado – Exercício de Leitura de Projeções com o desenho das vistas cortadas (cortes) assinaladas / Preparatory Engineering Tests: Enunciation – Exercise on reading projections with the drawing of the marked sectional views (cuts)*
 Guilherme Ricca Gonçalves, (FCUP 1974-76)
 Cópia Heliográfica / Heliographic Print, 168 x 154 mm
 Departamento de Mecânica / Mechanical Engineering Department, FEUP

*Inquirir, provar e reconstituir:
apontamentos sobre
o desenho na arqueologia*

Vasco Cardoso

“Visto o desenho, não é difícil descobrir
na fotografia o verdadeiro conteúdo da pedra.”

Abel Viana¹

Estes apontamentos sobre o desenho em arqueologia seguem-se a um levantamento de desenhos realizado no Departamento de Ciências e Técnicas do Património da Faculdade de Letras da Universidade do Porto. Tal como outros desenhos, recolhidos nas demais faculdades da universidade, são a fonte primária dos estudos no âmbito do projeto FCT de investigação, “DRAWinU”. Os desenhos levantados conduziram a uma reflexão sobre o desenho na arqueologia e para a qual, naturalmente, foram auscultados autores e peritos das áreas da arqueologia e do desenho de arqueologia. Alguns desses especialistas foram convidados a partir do periódico do Museu Nacional de Arqueologia, fundado em 1895 por José Leite de Vasconcellos e, hoje, internacionalmente reconhecido: “O Arqueólogo Português”.

O texto pretende olhar para o serviço do desenho no campo da arqueologia, procurando posicionar-se sob o ponto de vista do desenho.

1 Carta de Abel Viana a José Leite de Vasconcellos, de 14 de outubro de 1939, sobre a revelação da inscrição na parte de cima da face principal da estela funerária romana de Peroguarda, do século II d.C. (Cardoso & Coito, in *O Arqueólogo Português*, Série V, 4/5, 2014-2015, p. 71).

O desenho faz prova

O propósito do registo arqueológico (...), poderá dizer-se, é produzir uma representação objetiva da evidência material. (Edgeworth, 2003, p. 256)

O símbolo textual, produto de atos de inscrição, não só *representa* o objeto, mas antes, e num sentido muito real, *torna-se* o objeto, ainda que de uma forma simbólica e não material. (Edgeworth, 2003, p. 243)

Em arqueologia, o desenho faz prova e é testemunho para disseminação pela comunidade científica de réplicas bidimensionais dos sítios e objetos inquiridos. Os cientistas poderão ter acesso facilitado aos dados que convergiram para hipóteses e conclusões dos pares e, assim, refutar solidamente ou prosseguir pelo mesmo caminho.

Veja-se um registo, relativo a algaravizes, sobre o valor testemunhal do desenho: “O exemplar de Vila Nova de São Pedro reproduzido pelos escavadores foi depois desenhado, confirmando-se a sua estreita analogia com os exemplares do Outeiro Redondo (...)” (Cardoso, Sousa e Martins, 2013, pp. 213-253). É tal a importância dada ao desenho em arqueologia que errar significa contaminar a investigação, enviesar conclusões. Para o atestar, menciona-se um erro de desenho ocorrido em 1959, acerca de umas placas de xisto gravadas e que terá levado a equívocos, colocando em causa o rigor dos cientistas: “Refira -se, ainda a respeito desta placa, o flagrante erro de desenho de G. e V. Leisner (facto que tem vindo a revelar-se lamentavelmente frequente, abalando o já lendário rigor do casal alemão)” (Andrade, 2013, pp. 171-195).

Na investigação, o “desenho arqueológico tem como objetivo a publicação de relatórios e de livros sobre temas de arqueologia” (Sousa, 1999, p. 89) e, para esta busca pelo rigor, o desenho cursa um caminho de depuração: uma articulação interdependente da inquirição, no campo, e da prova, no laboratório (imagens 1, 2 e 3). Como bem referiu Ingold (2013, p. 126) “Podemos dizer que os esboços caminham em direção à proposição. Mas quando o esboço dá lugar ao desenho técnico, todo o movimento é parado”. É um caminho percorrido em equipa. É um caminho apoiado na ciência da geometria, por via dos sistemas de projeção, e num conjunto de regras e protocolos filiados nas normas do desenho técnico. Do Renascimento, das *antigualhas* de Francisco de Holanda, ao Romantismo, até à atualidade, “o desenvolvimento da ilustração em arqueologia em grande parte seguiu o desenvolvimento

da própria arqueologia, pois ambos foram afetados pelas mesmas influências” (Adkins & Adkins, 2009, p. 1). Houve um processo de gradual aumento de objetividade científica, acompanhado pelo desenho, em que “Estritas regras da geometria descritiva são a base do desenho arqueológico” (David-Cuny, 2017, p. 2), sendo expressas pela normalização do desenho técnico. Recentemente, a fotogrametria e os processos digitais têm sido as mais avançadas ferramentas de trabalho. Mas também na ilustração, a objetividade científica foi-se apurando pela utilização da gravura, da fotografia e da computação gráfica.

Apesar de vários avanços que foram acontecendo no conhecimento e técnicas de desenho e de ilustração e no conhecimento e técnicas de escavação, “só quando foi publicado o trabalho de Pitt-Rivers, no final do século XIX, é que a ilustração arqueológica atingiu a maioria” (Adkins & Adkins, 2009, p. 5). Ainda assim, e no contexto atrás referido, processos menos informados, é certo, seguiam nessa mesma época como representações intuitivas. A título de exemplo, em Portugal, é interessante destacar processos amadores resgatados da correspondência entre José Leite de Vasconcellos e um juiz entusiasta da arqueologia, sobre as explorações arqueológicas deste último, em 1895: “Vão também alguns desenhos, como sei fazel-as; ...; as pontas de setta fil-as, collocando-as sobre o papel e riscando em roda; as placas, collocando o papel sobre ellas e esfregando por cima com uma lamina de chumbo.”²

Presentemente são muitos os recursos científicos e técnicos de criação de imagens ao dispor do campo vasto da arqueologia. Contudo, segundo Adkins & Adkins (2009, p. 6), “os desenhos continuam a ser a forma dominante de ilustração”. Entendendo *ilustração*, no sentido de *registro pictográfico da evidência* de Edgeworth (2003, p. 80), então “os desenhos arqueológicos tornam-se diagramáticos” (Adkins & Adkins, 2009, p. 6).

Atenda-se ao caso da fotografia. Sobre este recurso, ainda, Adkins & Adkins (*ibidem*) sublinham: “Habitualmente a fotografia dá uma boa impressão global e *realista* do sujeito, mas tem a desvantagem de não ser seletiva”. Ou seja, a capacidade de seletividade do desenho introduz o conhecimento e a interpretação informada nas op-

2 Carta de Mattos Silva a José Leite de Vasconcellos, de 6 de março de 1895, sobre uma prática de desenho (Ref. 21266) (Serras & Carneiro, 2011, p. 290).

ções tomadas pelos cientistas, centrando neles a decisão e chamando a atenção para a importância determinante do tempo de construção de um desenho, como tempo de construção do conhecimento. Mais enumeram os autores sobre as vantagens do desenho esclarecido relativamente à fotografia: um desenho pode incluir maior quantidade de informação pelo recurso à múltipla projecção ortogonal e ao corte, em simultâneo; a utilização da escala facilita a comparação; o emprego criterioso de símbolos, assim como de cores e anotações, permite a introdução de informações relevantes adicionais e complementares. Mas são ressalvados processos colaborativos, naturalmente. No caso da fotogrametria, da fotografia retificada ou corrigida, especificamente, além das vantagens na realização de mapas, plantas e cortes, é destacado ainda o facto de os registos realizados, no final do processo, também servirem o desenho, neste caso como base para a sua produção (*ibidem*, p. 82-83). Fazendo sobressair uma das vertentes da capacidade seletiva do desenho, outro processo de colaboração entre os registos fotográfico e desenhado acontece no levantamento e estudo da arte rupestre. Veja-se o caso do Vale do Côa, trazido de Zilhão (1997, p. 217-218) por Sousa (1999, p. 101). Para levantar as diferentes gravuras existentes sobrepostamente na superfície de uma rocha, são ferramentas a fotografia com luz rasante e o decalque sobre plástico polivinílico em condições de luz específicas. Entre outras funções, a fotografia destaca as particularidades da superfície e o decalque, de cada gravura em separado, ou conjunto, seleciona cada unidade gravada.

Um dos novos recursos técnicos, atrás evocados, do desenho é o computador e a computação gráfica. Neste domínio, o desenho de modelação assistido por computador introduz a questão da tridimensionalidade operada de um modo dinâmico, o que, de facto, complementa o serviço exercido pelo desenho no campo do conhecimento em arqueologia. A esse respeito, deixa-se o exemplo de como aquela capacidade poderá ser útil nos casos em que a necessidade de localização espacial é complexa de resolver com plantas, cortes e alçados, mesmo utilizando transparências, sobreposições de desenhos e transferência de cotas: “É pena que então não fosse prática comum [1966-68] efectuar medições tridimensionais de achados, de forma que hoje se torna impossível determinar a proveniência exacta de cada fragmento, ficando assim afastada a possibilidade de decifrar o processo de destruição da taça” (Kunst & Arnold, 2011, pp. 429-488).

As questões da aquisição e processamento da forma e do desenho assistidos por computador têm trazido à arqueologia, assim como a outras áreas do conhecimento, o debate sobre a atualidade e, até, sobre pertinência do desenho. Refere-se o desenho feito à mão, de *toma do natural*, quer na dimensão de processo edificador de conhecimento, quer na dimensão de processo de visualização. Auscultando sobre o assunto dois desenhadores de arqueologia que o têm debatido, David-Cuny (2017) e Sapirstein (2020), regista-se uma concordância na defesa de que estes processos assistidos diminuem muito o tempo requerido para as tarefas de levantamento de dados sobre os sítios e objetos arqueológicos, face ao procedimento manual. Para além disso, os processos introduzem nas peças gráficas concebidas uma maior precisão e definição, assim como distribuem melhor o erro. Ainda, permitem uma melhor perceção geral dos referentes desenhados, de tal modo que possibilitam entendimentos diferentes daqueles tidos através de outros processos. Do ponto de vista gráfico, especialmente quando se fita a publicação, os processos assistidos admitem uma maior versatilidade de exploração.

David-Cuny, apoiada na divisão das atividades do desenho e da produção gráfica da arqueologia em dois tipos – morfometria e *rendering*, na lógica da *computer graphics pipeline* –, aponta alguns resultados da sua experiência. Referindo-se à morfometria, a autora sustenta que a fotogrametria e a aquisição de forma automatizadas poderão resolver o problema da remoção do viés que a representação em perspetiva introduziria nos desenhos científicos. Contudo, subtraem ao investigador o tempo do desenhar, de empreender um processo de precisa observação analítica e de seleção especializada, um tempo de aprendizagem. No entanto, se combinados os processos fotográficos (nomeadamente a macrofotografia) e o desenho, poderá acontecer o melhor das duas práticas. Já sobre o *rendering* e as técnicas gráficas de design, a autora argumenta que o campo das possibilidades de manipulação e operação com as imagens abriu-se largamente a novos e diferentes caminhos, ultrapassando anteriores limitações impostas pelas técnicas e suportes de edição e publicação.

Por sua vez, Sapirstein sublinhou que a fotogrametria passiva e os sistemas de rastreamento requerem um número substancialmente menor de especialistas no sítio arqueológico, no momento do levantamento e estudo. Assim ficam reduzidas as potencialidades inter-

pretativas do trabalho em grupo. O autor deu-nos o testemunho das vantagens do trabalho e desenho em grupo, a propósito do relato sobre um levantamento manual dentro do projeto SHARP, por si dirigido: “Entre cinco e um máximo de doze... membros [da equipa] contribuíram para a interpretação de cada um dos complexos, resultando numa compreensão mais diversificada, criteriosa e potencialmente muito mais rica dos achados” (Sapirstein, 2020, p. 151). Além da aludida redução da massa crítica, os processos assistidos exigem um afastamento físico de quem desenha face ao referente a desenhar. Assim, reduzem os atos de registo a coisa visual e não corpórea, e contrariam a experiência do autor: “Tanto as pistas visuais como as hápticas são essenciais ao processo de identificação e etiquetagem de atributos” (*ibidem*, p. 141). Cumulativamente, também poderá ficar em risco outro valor atribuível ao ato de desenho, o valor heurístico: “Enquanto estavam a ser traçados, os desenhos (...) serviram como guias inteligíveis dos espaços complexos com os quais nos debatíamos para os compreender.” (*ibidem*, p. 151), em linha com David-Cuny.

Ainda sobre as novas tecnologias na arqueologia, importa relembrar o estudo de 1991 sobre a etnografia da prática da arqueologia, de Edgeworth (2003). O autor deixou clara a interdependência envolvendo o pensamento arqueológico, as ferramentas e as práticas de trabalho de campo, moldando-se todos mutuamente ao longo dos tempos e das gerações de profissionais (*ibidem*, p. 276). Mais recentemente, Edgeworth (2015, p. 55) assinalou a presença das tecnologias digitais na arqueologia. Assim, no seguimento do seu argumento, importará conciliá-las e adequá-las aos fins apropriados e mais rendosos, quer no contexto das práticas anteriores, quer das atuais. Logo, deverá acontecer um repensar sobre a epistemologia da arqueologia. Pois, por um lado, “a escavação – o cerne da prática da profissão da arqueologia – tem provado ser relativamente impermeável aos modos de ver e fazer orientados por computador” (*ibidem*, pp. 44-45). Frase essa que justifica, assente nas qualidades hápticas e heurísticas do desenho, o facto de que “Plantas e cortes de sítios arqueológicos continuam a ser, na sua maior parte, registos gráficos medidos e desenhados à mão em folhas também preenchidas com notas manuscritas, esboços e esboços” (*ibidem*, p. 45). Por outro lado, uma pouca atenção aos resultados etnográficos de Edgeworth poderá, num extremo, ser o motivo justificativo para a sua declaração: “Muitos arqueólogos doutorados têm grande experiên-

cia de trabalho de ecrã, mas praticamente nenhuma experiência de trabalho de campo” (*ibidem*, pp. 55-56). Em termos do pensamento disciplinar da arqueologia, extremos como o relatado, certamente poderão provocar uma clivagem na identitária intercomunicação das solidárias atividades de campo e de laboratório.

Mais recentemente, o estudo *The Aide Mémoire Project* (Morgan *et al.*, 2021), sobre o debate entre registos manuais e registos assistidos, ou digitais, traz conclusões, das quais duas serão destacadas neste texto. *The Aide Mémoire Project* procurou debater os efeitos havidos na construção do conhecimento em arqueologia decorrentes da realização de registos gráficos: desenho manual e desenho digital. Trata-se de uma investigação interdisciplinar que envolveu pesquisadores de diferentes áreas do saber, legitimando a integração no debate do conceito de *modelos mentais*, vindo da psicologia cognitiva. A discussão e os resultados do estudo advieram de entrevistas a grupos de desenhadores de arqueologia profissionais e estudantes, e de uma observação crítica sobre modos e procedimentos dos membros desses grupos face a situações reais. As observações, os resultados – dos quais se sublinha “A informação armazenada e processada por computador é de longe mais frágil do que aquela tratada analogicamente” (p. 626) – seguem na esteira daqueles colhidos dos dois desenhadores atrás referidos.

A fechar esta nota, assinalam-se então as referidas duas conclusões do *The Aide Mémoire Project*. Em primeiro lugar, depois de assinalar que o desenho tem vindo a ser afastado da arqueologia, “apoia decisivamente (...) a continuidade da participação do desenho (quer digital, quer analógico) no seio da arqueologia” (p. 626), tanto no desenho de campo e na ilustração, como também no ensino dos novos profissionais. A razão assenta na capacidade do Desenho para formar *modelos mentais*, peças fundamentais para a construção do entendimento dos vestígios e achados arqueológicos.

Em segundo lugar, afirmam que será o desenho *analógico* aquele a melhor servir na formação dos jovens arqueólogos, pois estão a construir os seus *modelos mentais* em arqueologia: “há implicações (...) significativas a considerar quando se substitui ou remove o desenho manual por outras formas de registo, digitais ou assistidas por computador, no âmbito do método arqueológico”, nomeadamente, “aprendizes e estudantes de arqueologia podem não ser capazes de formar modelos mentais.” (p. 627). O ato de desenhar à mão está mais habilitado para promover a fusão entre sujeito e objeto: “O arqueólogo tem

um encontro incorporado com os sítios e vestígios arqueológicos” (p. 625). A introdução da interação com a tecnologia em sítio reduzirá a capacidade de compreensão do que é desenhado.

Noutra vertente do mesmo entendimento, David-Cuny (2017, p. 4) assevera que, seja qual for o processo ou meio, “[o desenhador de arqueologia] permanece, por si, o *fator humano* essencial para saber o que fazer com este lápis digital. O seu trabalho continua a ser *desenho à mão*, mas com um instrumento diferente”.

Se, em arqueologia “O objeto é representado como se fosse apreendido por um observador incorpóreo, como se existisse independentemente do sujeito que o percebe.” (Edgeworth, 2003, p. 256), então deve afirmar-se que o *observador incorpóreo* é aqui tido como a Razão: o entendimento objetivo e comum a várias pessoas debruçadas sobre um problema. Assim, esta característica do desenho de arqueologia terá garantias de bom sucesso, se surgir da experiência háptica de um grupo de trabalho crítico e colaborativo na construção ativa de conhecimento.

Referenciar a prova: escala e orientação

O domínio das escalas é um aspeto central do desenho na arqueologia, tal como o é em muitas outras áreas do conhecimento. Ponderado em conjunto com a orientação e localização geográficas e espaciais, conferem ao desenho a tarefa determinante na arqueologia de garantir a relação espacial entre o objeto estudado e o sítio arqueológico de onde este foi retirado (imagens 4, 5, 6, 7), além de, claro está, adequar o desenho à dimensão da folha de papel. A importância dessas questões de método para a produção do conhecimento arqueológico advém do facto de “[a] escavação arqueológica [ser] um ato consciente de destruição que está subjacente a uma investigação criteriosa e sistemática dos vestígios materiais do passado que se encontram no subsolo” (Lopes, 2021, p. 79). Nessa esteira, o desenho “(...) torna-se imprescindível quando é necessário efetuar o desmonte de alguns desses contextos arqueológicos” (*ibidem*, p. 80).

Mais ainda, escala e orientação permitem descobrir e conservar a relação do sítio com o território alargado; das proximidades a mais vastas extensões. Assim, claramente a arqueologia, uma ciência social e humana, é área de preocupações e abordagens dinâmicas, tanto *mul-*

tiescales, como, obviamente, *multitemporais*. Ora, estas atribuições convocam usos e práticas do desenho – o mapa, por exemplo – que podem também ser reconhecidos noutras áreas do conhecimento, mormente as que estudam forma e espaço sobre o território ao longo do tempo, veja-se a geografia, geologia e história.

Mapear é um dos meios de participação do desenho na arqueologia. Mapear permite fazer o estudo das distribuições espaciais relativas dos eventos sob foco ao longo do tempo, bem como conhecer as correlações que estabelecem e estabeleceram. Havendo a acertada conversão das projeções utilizadas, os sistemas de referência geográficos e topográficos, o referencial cartesiano, a malha ortonormada a duas ou três dimensões, a grelha quadriculada montada no chão da escavação ou na face da superfície do corte vertical no terreno, o papel milimétrico ou os diedros de cartão para os objetos, ficam estabelecidos os amparos de referência espacial para qualquer escala. Nesses apoios sustentam-se e interrelacionam-se territórios, sítios de escavações arqueológicas, estratigrafias, materiais líticos, cerâmicos, metálicos, vidros, placas de xisto, machados de pedra polida, materiais orgânicos (osso, marfim, chifre, madeira), e, até, a decoração pintada, incrustada, sulcada ou incisa; sem esquecer as formas e métodos de produção dos materiais, a sua função, assim como as particularidades dos desgastes, quebras, abrasões, etc. Além do referencial âncora, interconector das abordagens às várias escalas, no desenho de arqueologia há a utilização de outras ferramentas estudadas para mapas, nomeadamente a cor e os símbolos, de modo sistematizado (Bertin, 1967; Robinson, 1953; Slocum, 1999) ou de modo mais ou menos intuitivo. Serão estes atributos gráficos, bem como as anotações, contribuintes para se poder afirmar que o mapa é seletivo e interpretativo (Fernandes, 2008, p. 21). É-o tal como o desenho. É-o pelo autor do mapa, mas também por quem o utiliza. Nesta esteira, sublinha-se que o desenho de um material arqueológico tornar-se-á homólogo ao de um mapa ou de uma planta. Tal acontece pois será empregada a projeção ortogonal para acesso à medida pela utilização da escala expressa graficamente, e serão incluídos símbolos e cores, complementando a informação figurativa.

A estratégia de aplicação da linguagem do mapa, além de habilitar a comparação de materiais e sítios da mesma natureza e função, permite a integração do material no sítio da escavação ou deste na região. Acresce o facto, de igual importância, de o desenho executado

com o mesmo detalhe e precisão nas diferentes escalas determinar que a ampliação de uma análise, de uma observação arqueológica, é, efetivamente, um incremento de informação e não é apenas uma homotetia.

Se acima se considerou a distribuição horizontal dos eventos para estudo da arqueologia, importa olhar agora para a distribuição vertical, abordada pelo estudo da estratigrafia. Efetivamente, fala-se de cortar para conhecer através do tempo. Como bem diferenciou Sousa (1999, p. 18), é “o registo gráfico de perfis estratigráficos – dimensão vertical (o tempo) que permite uma visão diacrónica, e de plantas – dimensão horizontal (o espaço), que possibilita a visão sincrónica, e onde cada planta representa uma “fatia” de tempo.” Tal como no estudo do *espaço*, no estudo do *tempo*, as referências geográfica e topográfica continuam a ser fundamentais para o entendimento dos eventos em contexto. De igual modo, no desenho da estratigrafia a cor e o símbolo têm o mesmo papel que tinham na execução das plantas e mapas, ou seja, um papel complementar na disponibilização de informação.

A estratigrafia estuda a estratificação, um processo decorrente do facto que “qualquer assentamento humano, através da acumulação de resíduos que se misturam com a terra, provoca um aumento regular do nível do solo que poderá atingir um metro a cada três a quatro séculos” (Ville, 1968, p. 216). O reconhecimento do valor da formação de estratos, camadas relativamente homogéneas num sítio de ocupação, destruição e/ou abandono, levou o arqueólogo a desenvolver o método estratigráfico. Assim, pôde conhecer e datar sequências de eventos ocorridas sobre um determinado lugar ou território.

O desenho estratigráfico acompanha o corte físico na escavação e ambos acompanham o ato da descoberta do conhecimento, de acordo com Ingold (2013, p. 11). O autor salienta, “Tal como a observação participada, a escavação é um modo de conhecimento a partir do interior do problema: uma correspondência entre uma atenção plena e os materiais vívidos, conduzida por mãos hábeis, ‘na aresta do colherim’. É a partir desta correspondência, ..., que o conhecimento arqueológico cresce”. O corte poderá ser fotografado amiúde, mas apenas dará uma perspectiva geral do referente e a *correspondência*, no sentido de Ingold (*idem*, pp. 105-108), seguramente não existirá. Já o registo desenhado aclara a identificação e delimitação dos estratos, dos objetos e materiais arqueológicos naqueles incluídos, podendo ainda ser complementado pela cor, notação e símbolos, na lógica do já atrás abordado. O desenho estratigráfico começa a tornar claras as evidências nos estratos logo com

a escavação, iniciando o processo de depuração do conhecimento, o qual terminará em laboratório com a produção de desenhos técnicos (imagens 8, 9, 10).

Antes de terminar este apontamento, deve ser salientado que, tal como para os mapas e para os desenhos de objetos e materiais arqueológicos, “os cortes são desenhos técnicos ... É importante ter em conta que estes desenhos são, todavia, interpretações das camadas estratigráficas” (Balme & Paterson, 2014, p. 34).

Reconstituir e ilustrar a partir das provas

A constituição do desenho arqueológico como prova advém da inclusão da mensuração, num espaço cartesiano, sem observador presente, e consubstancia-se na publicação da sua formulação diagramática em desenho científico, segundo a normalização do desenho técnico. Haverá a consciência de que, sendo científico, o desenho arqueológico decorreu de um processo seletivo, o que estriba a construção da imagem a um processo de avaliação crítica. Há a considerar uma dimensão interpretativa.

Uma vez publicado, o desenho arqueológico capacita a disponibilização de imagens representativas dos objetos e materiais encontrados e estudados, suportando a definição de tipologias morfométricas para o estabelecimento de futuros quadros interpretativos. Por um lado, o estudo sintético das formas recolhe da sua articulação com o estudo de proveniências, de sítios e regiões, de épocas, condições e modos de produção, influências, de usos, decorações, etc. Por outro lado, verte para a produção de novas comparações.

Com “a criação de um *corpus* de formas (...), organizadas cronológica ou tipologicamente” (Sousa, 1999, p. 52) estabelecem-se taxonomias, em que cada entrada, “um desenho esquemático da forma” (*ibidem*) decorrente de uma “decomposição geométrica elementar” (Madeira, 2002, p. 18), se vai constituindo como que em pré-modelo de recurso para suporte de reconstituições arqueológicas de raiz *hipotetigráfica* (Massironi, 1989). Mas, sublinhe-se, estes pré-modelos serão apenas uma referência para a realização do desenho de reconstituição, pois “O desenho na arqueologia é descritivo” (Figueiredo, 2012, p. 78). Nesse enquadramento, os modelos apoiam a reconstituição conjetural de objetos arqueológicos, fazendo uso da escala, da orientação e das propriedades

geométricas das formas: eixos de simetria de reflexão, contornos, composição, operações booleanas, etc (imagens 11, 12, 13). Também à dimensão do edificado, de um abrigo, de um sítio ou de uma região, existem pré-modelos de recurso e apoio à reconstituição (imagens 14, 15, 16, 17).

A partir de trabalhos do desenho nas reconstituições arqueológicas é possível conjecturar, combinar as diferentes variáveis de um momento e de um sítio do passado, ilustrando alguns cenários e procurando recontar histórias. A ilustração arqueológica é um trabalho colaborativo feito sobre documentação escrita e desenhada, testemunhos coevos, resultados de trabalho arqueológico e sobre o conhecimento científico em arqueologia. De modo análogo ao que acima se referia sobre *a criação de um corpus de formas*, também em ilustração arqueológica se recorre à utilização de pré-modelos habilitados, sempre que surgem vazios de conhecimento de difícil colmatação. A esse respeito, Figueiredo (2016, pp. 7-8) utilizou o conceito de *archi-iconicité*, debatido por Cambrosio, Jacobi e Keating (2004), para afirmar que “o ilustrador científico dispõe de uma biblioteca mental de modelos visuais, de protótipos que vão definir à partida o edifício que vai reconstruir. Estes modelos visuais, ou arquí-ícones, assentam primordialmente em edifícios bem preservados que escaparam à total ruína”. Ora, a variedade das dúvidas e das consistências dos pré-modelos será muita. Nesse sentido, o mesmo autor sublinha a importância da utilização, em particular no recente campo expandido da arqueologia virtual (ou seja, a visualização de base computacional aplicada ao património arqueológico), daquilo que designa por “grau de evidência histórico-arqueológico” (Resco e Figueiredo, 2016, p. 235-247). Trata-se essencialmente da utilização da cor, desta feita como elemento identificativo da quantidade e qualidade das verosimilhanças e filia-se na *London Charter for the Computer-Based Visualisation of Cultural Heritage* (2006, 2009), assim como em *The Seville Principles – International Principles of Virtual Archaeology* (2008-2017) (cf. Bendicho, 2013).

De seguida, depois das referidas estratégias para conjecturar sobre objetos, ambientes e cenas do passado, no âmbito da arqueologia, importa apontar outros dois aspetos, interligados, sobre reconstituição e ilustração e que ainda se pretende abordar.

Ramos (2010, p. 63), reconhecendo a necessidade de o desenho de arqueologia assentar numa base científica e de beneficiar de um suporte técnico, sobretudo da fotografia – com certeza, não excluiria a computação gráfica – sublinha, contudo, o valor heurístico também

no desenho de reconstituição de sítios arqueológicos. O autor releva a importância do desenho arqueológico de reconstituição de um sítio, o desenho *hipotetigráfico*, quando realizado em campo e durante a escavação. Defende essa ideia afirmando que o desenho “vai apresentando, à medida da sua construção, questões que, de outra forma, o arqueólogo não formularia. (...) este tipo de desenho serve não só para dar respostas às interrogações do arqueólogo, como, e, talvez, mais importante, para colocar questões”.

Ora, o posicionamento de quem desenha no espaço introduz o outro aspeto a mencionar: “uma observação naturalista, onde o desenhador, (...), ocupa um ponto específico e vê o mundo desse ponto de vista, segundo as regras da perspectiva cónica ou linear e da perspectiva atmosférica” (*ibidem*, p. 59). Por outras palavras, com esta substantiva diferença, relativamente ao desenho de objetos arqueológicos, em que o observador estava ausente, fica claro ser a seleção do ponto de vista – a relação do corpo com o espaço e os objetos – determinante para a construção do conhecimento em arqueologia. Para se entender o que foi um espaço vivo, repleto de complexas dinâmicas, é cientificamente determinante tomar o lugar daqueles que foram os seus habitantes, frequentadores ou visitantes. Será uma simulação promotora de outras descobertas, descobertas sobre características que só a presença do corpo no espaço contentor permite alcançar.

Em desenho e ilustração de arqueologia verifica-se uma criteriosa utilização dos sistemas de representação que o desenho disponibiliza. Haverá também a necessária depuração conducente a uma ilustração para publicação científica destinada ao público especializado ou para ações de divulgação do conhecimento junto do público em geral. Mas qualquer que seja o sistema de representação a estruturar o desenho, os processos de construção da imagem exigirão dos investigadores tempo; um continuado processo de enunciar e solucionar problemas; um tempo de conhecimento.

Uma nota a finalizar

A arqueologia dispõe de uma pluralidade de abordagens para conhecer o seu objeto de estudo. Pretendeu-se sublinhar o envolvimento, determinante, que a arqueologia estabelece com o desenho, pelas estratégias e conhecimento que este domina para “ver, querer ver, dar a ver” (Bismarck, 2021).

Estes apontamentos sumários, naturalmente, não podem cobrir a vasta amplitude da questão. Procuraram somente pistas para a construção de uma possível estratégia para analisar o assunto pelo lado do desenho.

RECONHECIMENTO

O autor do texto agradece a todos os colegas que contribuíram para este projeto com os seus desenhos e experiência, muito em especial à Professora Doutora Maria de Jesus Sanches e à Doutora Dulcineia Pinto.

Referências

- Adkins, L. & Adkins, R.A. (2009). *Archaeological Illustration* (Cambridge Manuals in Archaeology). Cambridge: University Press.
- Andrade, M.A. (2013). As placas de xisto gravadas da anta da Herdade da Lameira (Alto Alentejo, Portugal). In Carvalho, A. (Dir.) & Melo, A. A. (Coord.), *O Arqueólogo Português*, Série V, 3, 2013. Lisboa: Museu Nacional de Arqueologia e Imprensa Nacional, pp. 171-195.
- Balme, J. & Paterson, A. (Eds.) (2014). *Archaeology in Practice: A Student Guide to Archaeological Analyses* (2.^a Ed.). West Sussex: Wiley-Blackwell.
- Bendicho, V. (2013). International Guidelines for Virtual Archaeology: The Seville Principles. In: Corsi, C., Slapšák, B., Vermeulen, F. (eds) *Good Practice in Archaeological Diagnostics. Natural Science in Archaeology*. Springer, Cham.
- Bertin, J., (1967). *Sémiologie Graphique*. Paris: Gautier-Villans/Moutons.
- Bertin, J., (1977). *La Graphique et le Traitement Graphique de l'Information*. Paris: Flammarion.
- Bismark, M. [et al.] (Orgs.) (2021). *Ver, querer ver, dar a ver: desenhar entre fronteiras na Universidade do Porto*. Porto: U. Porto Press and iZADS.
- Cambrosio, A., Jacobi, D. & Keating, P. (2004). Intertextualité et archi-icronicité: le cas des représentations scientifiques de la réaction antigène-anticorps. In *Études de communication* [En ligne], 27 | 2004, mis en ligne le 14 octobre 2008.
- Cardoso, J.L. & Coito, L.C. (2014-15). Correspondência de Abel Viana a José Leite de Vasconcelos: Do mérito ao reconhecimento. In Carvalho, A. (Dir.) & Melo, A. A. & Coito, L.C. (Coord.), *O Arqueólogo Português*, Série V, 4/5, 2014-2015. Lisboa: Museu Nacional de Arqueologia e Imprensa Nacional, pp. 21-83.
- Cardoso, J.L., Soares, A.M.M. & Martins, J.M.M. (2013). O povoado campaniforme fortificado da Moita da Ladra (Vila Franca de Xira, Lisboa) e a sua cronologia absoluta. In Carvalho, A. (Dir.) & Melo, A. A. (Coord.), *O Arqueólogo Português*, Série V, 3, 2013. Lisboa: Museu Nacional de Arqueologia e Imprensa Nacional, pp. 213-253.
- David-Cuny, H. (2017). Archaeological drawing and graphic documentation. A short stroll from pencil to mouse. Acessível em: https://www.academia.edu/36514048/2017_Archaeological_drawing_and_graphic_documentation_A_short_stroll_from_pencil_to_mouse_MOUSE?email_work_card=view-paper
- Edgeworth, M. (2003). *Acts of Discovery: An Ethnography of Archaeological Practice*. BAR International Series 1131. Oxford: Archaeopress.
- Edgeworth, M. (2015). From Spadework to Screenwork: New Forms of Archaeological Discovery in Digital Space. In Carusi, A, Hoel, A.S., Webmoor, T. & Woolgar, S. (Eds.) *Visualisation in the Age of Computerization*. London: Routledge, pp. 40-58.
- Fernandes, M.G. (2008). *Cartografia: programa, conteúdos e métodos de ensino*. Porto: Dep. Geografia da Faculdade de Letras da Universidade do Porto. Acessível em: <https://repositorio-aberto.up.pt/handle/10216/18024>
- Figueiredo, C. (2012). O Desenho e a Ilustração na Arqueologia. Descodificação de desenho e ilustração arqueológica. In *Revista Portugal Romano* – Edição nº1 (Abril/Maio), V-1.0: pp. 75-80.
- Figueiredo, C. (2016) A Reconstituição Arqueológica uma tradução visual. In *Al-madan* online, II SÉRIE, (20) Tomo 2, JANEIRO, 2016, pp. 6-13. Acessível em: https://issuu.com/almadan/docs/al-madanonline20_2/7
- Kunst, M. & Arnold, F (2011). Sobre a reconstrução de estruturas defensivas do calcolítico na Península Ibérica com base na torre b de Zambujal (Torres Vedras, Lisboa). In Raposo, L. (Dir.) & Melo, A. A. (Coord.), *O Arqueólogo Português*, Série V, 1, 2011. Lisboa: Museu Nacional de Arqueologia e Imprensa Nacional, pp. 429-488.

- London Charter for the Computer-Based Visualisation of Cultural Heritage* (2009). Acessível em: <http://www.londoncharter.org>
- Lopes, V. (2021). Representações, Desenhos e Imagens do Território: O contributo da Arqueologia; O Caso de Mértola. In Cardoso, V., Gonçalves, M., Rodrigues, C. (Eds.), *Representações, Desenhos e Imagens do Território*, p. 79-86. Porto: i2ADS, CEGOT and CITTA.
- Madeira, José L. (2002). *O Desenho na Arqueologia*. Coimbra: Instituto de Arqueologia.
- Massironi, M. (1989). *Ver Pelo Desenho: Aspectos Técnicos, Cognitivos, Comunicativos*. Lisboa: EDIÇÕES 70.
- Morgan, C. (et al.) (2021). Drawing and Knowledge Construction in Archaeology: The Aide Mémoire Project. In *Journal of Field Archaeology*, Vol. 46, n.º 8, p. 614-628. Routledge, Taylor & Francis Group.
- Pinto, D. C. B. (2012). O Crasto de Palheiros na Idade do Ferro. Contributo da aplicação de uma nova metodologia no estudo da cerâmica. 2012. PhD Thesis. Acessível em: <http://hdl.handle.net/10316/19994>
- Ramos, A. (2010). O desenho do natural na reconstrução arqueológica. In Pombo, O. & Di Marco, S. (Eds.), *As Imagens com que a Ciência se Faz. Coleção A Imagem na Ciência e na Arte*. Lisboa: Editora Fim de Século, pp. 57-68.
- Resco, P.A. & Figueiredo, C. (2016). El grado de evidencia histórico-arqueológica de las reconstrucciones virtuales: hacia una escala de representación gráfica. In JAS Arqueología (eds.), Revista Otarq: Otras arqueologías, Nº. 1, pp. 235-247.
- Robinson, A. H. (1953). *Elements of Cartography*. New York: Wiley.
- Sanches, M. (1997). *Pré-história Recente de Trás-os-Montes e Alto Douro (O abrigo do Buraco da Pala no Contexto Regional)*. Porto: Sociedade Portuguesa de Antropologia e Etnologia.
- Sanches, M.J. (Coord.) (2008) *O Crasto de Palheiros - Fragada do Crasto Murça - Portugal. Murça*. Murça: Município de Murça. ISBN 978-972-97337-3-4
- Sanches, M. J.& Pinto, D. C. B. (2006). Terra, madeira e pedra-materiais para a construção de um povoado proto-histórico de Trás-os-Montes: o caso do Crasto de Palheiros-Murça. In *Terra: formas de construir. Arquitectura, Antropologia, Arqueologia (10ª Mesa-Redonda da Primavera)*. Lisboa: Argumentum & Escola Superior Gallaecia, pp. 83-90. Acessível em: https://www.academia.edu/22543295/Terra_madeira_e_pedra_materiais_para_a_constru%C3%A7%C3%A3o_de_um_povoado_proto_hist%C3%B3rico_de_Tr%C3%AAs_os_Montes_O_Crasto_de_Palheiros_Mur%C3%A7a
- Sapirstein, P. (2020). Hand Drawing Versus Computer Vision in Archaeological Recording. In *Studies in Digital Heritage*, Vol. 4, No. 2, pp. 134-159.
- Serras, M. & Carneiro, A. (2011). Entre o centro e a periferia: a relação epistolar de J. Leite de Vasconcellos e Manuel Mattos Silva [a judge in Ponte de Sôr]. In Raposo, L. (Dir.) & Melo, A. A. (Coord.), *O Arqueólogo Português, Série V*, 1, 2011. Lisboa: Museu Nacional de Arqueologia e Imprensa Nacional, pp. 267-300.
- Slocum, T. A. (1999). *Thematic Cartography and Visualization*. Nova Jersey: Prentice Hall.
- Sousa, F. (1999). *Introdução ao Desenho Arqueológico*. Almada: Câmara Municipal de Almada-Museu Municipal.
- The Seville Principles - International Principles of Virtual Archaeology*. Acessível em: <http://sevilleprinciples.com>
- Ville, G. (1968). *Dictionnaire de l'archéologie*. Paris: Librairie Larousse.
- Zilhão, J. (1997) (Coord.). *Arte Rupestre e Pré-História do Vale do Côa - Trabalhos de 1995-1996: Relatório Científico ao Governo da República Portuguesa Elaborado nos Termos da Resolução do Conselhos de Ministros N.º 4/96, de 17 de Janeiro*. Lisboa: Ministério da Cultura.

ARCHEOLOGY

*To inquire, to prove
and to reconstitute:
notes on drawing in archaeology*

Vasco Cardoso

“Having seen the drawing, it is not difficult to find
the real content of the stone in the photograph.”

Abel Viana¹

These notes result from a survey of drawings carried out at the Department of Heritage Sciences of the Faculty of Arts and Humanities. Like other drawings collected in other faculties of the University of Porto, they are the primary source of the studies developed within the research project DRAWinU, funded by FCT. The surveyed drawings led to a reflection on drawing in archaeology, for which authors and experts in the fields of archaeology and archaeological drawing were naturally consulted. Some of those experts' research was found in “O Arqueólogo Português”, the National Museum of Archaeology journal, founded in 1895 by José Leite de Vasconcellos and today internationally recognised.

The text aims to examine the role of drawing in the field of archaeology, seeking to position itself from the perspective of drawing.

1 Letter from Abel Viana to José Leite de Vasconcellos, dated 14th October 1939, regarding the discovery of the inscription on the upper part of the main face of the Roman funerary stele from Peroguarda, dating back to the 2nd century AD (Cardoso & Coito 2014-2015, p. 71).

Drawing proves

The purpose of archaeological recording (...) could be said to produce an objective representation of material evidence (Edgeworth, 2003, p. 256).

The textual symbol that is the product of acts of inscription not only *stands* for the object; in a very real sense it *becomes* the object, albeit in a symbolic rather than a material form (Edgeworth 2003, p. 243).

In archaeology, drawing proves and bears the testimony for dissemination among the scientific community through bidimensional replicas of the inquired places and objects. Scientists may thereby gain easy access to the data converging around peer hypotheses and conclusions, and correspondingly becoming able to solidly refute or proceed along the same path.

Consider a record about tuyeres. This record reflects the testimonial value of drawing: “The specimen of Vila Nova de São Pedro reproduced by the excavators was then drawn, confirming its narrow analogy with the specimens of Outeiro Redondo (...)”. The importance given to drawing in archaeology is such that making any mistake can contaminate the research and biasing the conclusions. To attest to this, a drawing error from 1959 concerning engraved shale slabs is mentioned, which is said to have led to misunderstandings and questioned the accuracy of the scientists: “It should also be noted, concerning this slab, the flagrant drawing error by G. and V. Leisner (a fact that has become regrettably frequent, and undermining the already legendary scientific rigour of the German couple)” (Andrade, 2013, pp. 171-195).

In research, “archaeology drawing aims to publish reports and books on archaeology themes” (Sousa, 1999, p. 89) and, in this pursuit for accuracy, drawing follows a path of clarification: an interdependent articulation between inquiring in the field and proofing in the laboratory (images 1, 2, 3). As Ingold (2013, p.126) so well stated, “We could say that sketches are on their way towards a proposition. But at the point where the sketch gives way to the technical drawing, all movement is stilled.” This is a journey to be undertaken by teams. It is a path supported by the science of geometry, through projection systems, and a set of rules and protocols aligned with the standards of technical drawing. Since the Renaissance, through the *antigualhas* of Francisco de Holanda, to Romanticism and up to the present day,

“the development of archaeological illustration broadly followed the development of archaeology itself, because both were affected by the same influences” (Adkins & Adkins, 2009, p. 1). There was a gradually increasing scientific objectivity process, accompanied by drawing, where “Strict rules of descriptive geometry are the basis of archaeological drawing” (David-Cuny, 2017, p. 2), expressed through the technical drawing standards. Recently, photogrammetry and digital processes have become the most advanced working tools. Also in illustration, scientific objectivity has improved through the use of engraving, photography, and computer graphics.

Despite various advancements that have occurred in the knowledge and techniques of drawing and illustration, as well as in excavation methods, “it was not until the publication of Pitt-Rivers’ work in the late nineteenth century that archaeological illustration came of age” (Adkins & Adkins, 2009, p. 5). Nevertheless, in this context, less informed processes were still being followed during that time as intuitive representations. As an example, in Portugal, it is interesting to highlight amateur processes found in the correspondence between José Leite de Vasconcellos and an archaeology enthusiastic judge in 1895 regarding the latter’s archaeological explorations: “They also include some drawings, as I know how to make them; ...; I made arrowheads by placing them on paper and tracing around them; for the slabs, I placed paper on top of them and rubbed over with a lead blade”².

Currently, numerous scientific and technical resources are available for image creation within the extensive field of archaeology. However, according to Adkins & Adkins (2009, p. 6), “drawings continu[e] to be the dominant form of illustration”. If we understand *illustration* in Edgeworth’s sense of *pictographic record of the evidence* (2003, p. 80), then “archaeological drawings become diagrammatic” (Adkins & Adkins, 2009, p. 6).

2 Letter 21266 from Mattos Silva to José Leite de Vasconcellos, dated March 6, 1895, regarding a drawing practice (Serras. & Carneiro, 2011, p. 290).

Consider the case of photography. Regarding this resource, Adkins & Adkins (*ibidem*) emphasise: “Photography usually gives a good overall *realistic* impression of the subject, but it has the disadvantage of being unselective”. In other words, the capacity of drawing to be selective introduces knowledge and informed interpretation into the choices made by scientists, placing the decision-making on them and highlighting the crucial importance of the time spent making the drawing as a time of knowledge construction. Furthermore, the authors enumerate the advantages of enlightened drawing over photography: a drawing can include a greater amount of information through the use of multiple orthogonal projections and simultaneous sections; the use of scale facilitates comparison; the judicious use of symbols, as well as colours and annotations, allows for the introduction of additional and complementary relevant information. However, collaborative processes are acknowledged. In the specific case of photogrammetry, rectified or corrected photography, besides the advantages in creating maps, plans, and sections, it is highlighted that the records made at the end of the process can also serve drawing, in this case, as a basis for its production (*ibidem*, p. 82-83). Emphasising one aspect of the selective capacity of drawing, another collaborative process between photographic and drawn records occurs in the survey and study of rock art. Take the example of the Côa Valley, as discussed by Zilhão (1997, p. 217-218) and cited by Sousa (1999, p.101). Tools such as raking light photography and tracing on polyvinyl plastic under specific lighting conditions are used to document the different engravings overlapping on the surface of a rock. Among other functions, photography highlights the surface’s peculiarities, while the tracing of each engraving, taken separately or as a group, selects each engraved unit.

One of the new technical resources mentioned earlier in the context of drawing is the computer and computer graphics. In this domain, computer-assisted drawing and modelling introduce the question of three-dimensionality in a dynamic manner, which indeed complements the service provided by drawing in the field of archaeological knowledge. In this regard, let us provide an example of how that capability can be useful in cases where the need for spatial location is complex to resolve with plans, sections, and elevations, even when using transparencies, overlapping drawings, and dimension transfers: “It is a pity that it was not a common practice back then

[1966-68] to take three-dimensional measurements of findings so that today it becomes impossible to determine the exact provenance of each fragment. Therefore, the scope for deciphering the bowl's destruction process is excluded" (Kunst & Arnold, 2011, pp. 429-488).

The issues of computer-assisted acquisition and processing of form and drawing have brought to archaeology and other areas of knowledge a debate on the relevance and contemporary significance of drawing. This pertains to hand-drawn, on-site sketching, both in terms of its role as knowledge-building and visualisation processes. Examining the perspectives of two archaeological drafters who have discussed this topic, David-Cuny (2017) and Sapirstein (2020), there is a consensus in advocating that these computer-assisted processes significantly reduce the time required for data collection tasks related to archaeological sites and objects compared to manual procedures. Additionally, these processes introduce greater precision and definition into the graphical representations and distribute errors more evenly. Moreover, they provide a better overall perception of the drawn subjects, allowing for different understandings compared to other methods. From a graphical perspective, especially when considering publication, computer-assisted processes offer greater versatility in exploration.

Based on the division of archaeological drawing and graphic production activities into two types – morphometrics and rendering, following the logic of the *computer graphics pipeline* – David-Cuny highlights some results from her experience. Regarding morphometrics, the author argues that automated photogrammetry and shape acquisition could solve the problem of removing the bias that perspective representation would introduce into scientific drawings. However, they subtract the time the researcher needs to draw, undertaking a precise analytical observation process and specialised selection, which is a time of learning. Nevertheless, if photographic processes (especially macrophotography) are combined with drawing, the best of both practices can be achieved. As for rendering and graphic design techniques, the author argues that the field of possibilities for image manipulation and operation has significantly expanded, opening up new and different paths and surpassing previous limitations imposed by editing and publication techniques and media.

On his part, Sapirstein emphasises how passive photogrammetry and tracking systems require a substantially smaller number

of experts at the archaeological site during the survey and study. This reduces the interpretative potentialities of collaborative work. The author provided us with testimony of the advantages of collaborative work and drawing, regarding the report of a manual survey within the SHARP project, directed by him: “At least five and up to a dozen... members had contributed to the interpretation of each complex, resulting in a more diverse, deliberative, and potentially much richer understanding of the remains” (Sapirstein, 2020, p. 151). Beyond the reduction in critical mass mentioned above, assisted processes require a physical distancing of the one who draws from the referent to be drawn. Thus, they reduce the acts of recording to a visual and non-corporeal thing, contradicting the author’s experience: “Both visual and haptic cues were essential to this process of identifying and labelling attributes” (*idem*, p. 141). Additionally, another value associated with the act of drawing may also be at risk, such as the heuristic value: “As they were being plotted, the drawings... served as intelligible guides to the complex spaces which we were struggling to understand” (*ibidem*, p. 151), in line with David-Cuny.

Still, regarding new technologies in archaeology, it’s worth recalling the 1991 study on the ethnography of archaeological practice by Edgeworth (2003). The author made it clear that there is an interdependence involving archaeological thinking, tools, and field-work practices, all shaping each other over time and generations of professionals (*ibidem*, p. 276). More recently, Edgeworth (2015, p. 55) highlighted the presence of digital technologies in archaeology. Following his argument, it will be important to reconcile and adapt them to appropriate and more valuable ends, both in the context of past and current practices. Hence, there should be a reconsideration on the epistemology of archaeology because, on the one hand, “excavation itself – the core practice of the archaeological profession – has proved relatively impermeable to computer-oriented ways of seeing and doing” (*idem*, p. 44-45). Based on the haptic and heuristic qualities of drawing, this statement justifies that “site plans and sections are still for the most part measured and drawn by hand, and recording sheets filled in with handwritten notes and sketches” (*ibidem*, p. 45). On the other hand, a lack of attention to Edgeworth’s ethnographic results could, at one extreme, be the justifiable reason for his statement: “Many archaeologists with doctorates have great experience of screen-work yet practically none of spade-work” (*ibidem*, p. 55-56).

In terms of the disciplinary thinking in archaeology, extremes such as this one could certainly cause a division in the identity-intercommunication of the collaborative on-site and laboratory activities.

More recently, the study *The Aide Mémoire Project* (Morgan *et al.*, 2021) on the debate between manual and assisted or digital records presented its conclusions, two of which will be highlighted in this text. *The Aide Mémoire Project* sought to discuss the effects of graphic records – manual and digital drawing - on the construction of archaeological knowledge. It was an interdisciplinary investigation that involved researchers from different fields of knowledge, legitimising the integration of the concept of *mental models* from cognitive psychology into the debate. The discussion and outcomes of the study arose from interviews with archaeological groups of professionals and students who draw, and a critical observation of the modes and procedures of these groups in real situations. The observations and outcomes, among which it is emphasised that “digital data is far more fragile than analog data” (p. 626) – follow in the footsteps of those gathered from the two drafters mentioned earlier.

Two conclusions of *The Aide Mémoire Project* are highlighted to conclude these remarks. Firstly, after noting that drawing has been increasingly sidelined in archaeology, “this research overwhelmingly supports (...) the continuation of drawing (either digital or analog) within archaeology” (p. 626), both in field drawing and illustration, as well as in the training of new professionals. The reason lies in drawing’s ability to form *mental models*, which is crucial for understanding archaeological remains and findings.

Secondly, they assert that analogue drawing is the most effective in training young archaeologists, as they are constructing their *mental models* in archaeology: “There are significant (...) implications to consider when removing or replacing by-hand drawing with digital recording in archaeological methodology,” namely, “novices and students of archaeology might not be able to form mental models” (p. 627). The act of hand drawing is more adept at promoting the fusion between subject and object: “The archaeologist has an embodied encounter with archaeological remains” (p. 625). Introducing technology interaction on-site will reduce the understanding of what is being drawn.

In another aspect of the same understanding, David-Cuny (2017, p. 4) asserts that whatever the process or means, “[the archaeological draftsman] remains himself the *human factor* essential to know

what to do with this digital pencil. His work is still *hand drawing*, but with a different tool.”

If, in archaeology, “The object is represented as if it was perceived by a disembodied observer, as if it existed independently of a perceiving subject” (Edgeworth, 2003, p. 256), then it must be affirmed that the *disembodied observer* is here considered as Reason: the objective understanding common to various individuals focused on a problem. Thus, this characteristic of archaeological drawing will have assurances of success if it arises from the haptic experience of a critical and collaborative working group in the active construction of knowledge.

Referencing the proof: scale and orientation

Mastering scales is a central aspect of drawing in archaeology, as in many other areas of knowledge. Weighed in conjunction with geographical and spatial orientation, they endow drawing with the crucial task in archaeology of ensuring the spatial relationship between the studied object and the archaeological site from which it was founded (images 4, 5, 6, 7). Of course, it also involves adapting the drawing to the dimensions of the paper. The importance of these methodological issues for the production of archaeological knowledge arises from the fact that “Archaeological excavation [is] a conscious act of destruction underpinning a rigorous and systematic investigation of the remains of the past that are found underground” (Lopes, 2021, p. 79). In this context, drawing “becomes indispensable when it is necessary to dismantle some of these archaeological contexts” (*ibidem*, p. 80).

Furthermore, scale and orientation allow for discovering and preserving the relationship between the site and the broader territory, from proximity to vast extensions. Thus, as a social and human science, archaeology is an area of dynamic concerns and approaches, both *multi-scalar* and, obviously, *multi-temporal*. These assignments call for uses and practices of drawing—such as maps, for example—that can also be recognised in other areas of knowledge, especially those studying form and space on the territory over time, such as geography, geology, and history.

To map is one of the means of involvement of drawing in archaeology. To map allows the study of the relative spatial distribu-

tions of events under focus over time, as well as understanding the correlations they establish and have established. With the correct conversion of used projections, geographic and topographic reference systems, the Cartesian frame of reference, the orthogonal graph grid in two or three dimensions, the square grid on the excavation floor or on the face of the vertical cut in the terrain, the millimetre paper or cardboard dihedral projective planes for objects, spatial reference props are established for any scale. Territories, archaeological excavation sites, stratigraphies, lithic, ceramic or metallic materials, glasses, shale plates, polished stone axes, organic materials (bone, ivory, horn, wood), and even painted, inlaid, grooved, or incised decoration are sustained and interrelated on these supports; not to mention the forms and methods of production of materials, their function, as well as the specifics of wear, breakage, abrasions, etc. In addition to the anchor frame of reference, an interconnector of approaches at various scales, one finds other studied tools for maps in archaeological drawing, namely colour and symbols, systematically (Bertin, 1967; Robinson, 1953; Slocum, 1999) or intuitively. These graphic attributes and annotations contribute to affirming that the map is selective and interpretative (Fernandes, 2008, p. 21), just like drawing. It is so because of the map's author but also because of the one who uses it. In this vein, it is emphasised that the drawing of an archaeological material becomes homologous to that of a map or a plan. This happens because the orthogonal projection used in the drawing enables access to measurement using a graphically expressed scale. Symbols and colours are then included, complementing figurative information.

In addition to enabling the comparison of materials and sites of the same nature and function, the strategy of applying the language of the map allows the integration of material into the excavation site or the site into the region. Moreover, equal importance is given to the fact that the drawing executed with the same detail and precision at different scales determines that the enlargement of an archaeological observation analysis is indeed an increase in information and is not just a homothety.

If the horizontal distribution of events was considered above for the study of archaeology, it is important to now look at the vertical distribution, addressed by the study of stratigraphy. It has been argued that cutting is a way of knowing through time. As Sousa (1999, p. 18) well distinguished, it is “the graphic record of stratigraphic profiles

- vertical dimension (time) that allows a diachronic view, and plans
 - horizontal dimension (space), which allows a synchronic view, and where each plan represents a 'slice' of time." In the study of *time*, as in the study of *space*, geographical and topographic references continue to be fundamental for understanding events in context. Likewise, in the stratigraphic drawing, colour and symbol play the same role as they did in the execution of plans and maps, that is, a complementary role in providing information.

Stratigraphy studies stratification, a process resulting from the fact that "Any human settlement, through the accumulation of residues mixed with the soil, causes a regular increase in the ground level that can reach one meter every three to four centuries" (Ville, 1968, p. 216). Recognising the value of the formation of homogeneous layers in a site of occupation, destruction, or abandonment led the archaeologists to develop the stratigraphic method. Thus, it was possible to know and date sequences of events that occurred in a particular place or territory.

The stratigraphic drawing accompanies the physical cut in the excavation, and both accompany the act of discovering knowledge, according to Ingold (2013, p. 11). The author emphasises that "Just like participant observation, excavation is a way of knowing from the inside: a correspondence between mindful attention and lively materials conducted by skilled hands 'at the trowel's edge'. It is from this correspondence, (...) that archaeological knowledge grows." The cut can be photographed often, but it will only give a general perspective of the referent, and *correspondence*, in Ingold terms (ibid, pp. 105-108), surely will not exist. The drawn record clarifies the identification and delineation of strata, including objects and archaeological materials, and can also be complemented by colour, notation, and symbols, as discussed earlier. The stratigraphic drawing begins to clarify the evidence in the strata as soon as excavation begins, initiating the process of refining knowledge, which will end in the laboratory with the production of technical drawings (images 8, 9, 10).

Before ending this note, it should be emphasised that, just as for maps and drawings of archaeological objects and materials, "section drawings are technical drawings (...). [I]t is important to realise that these drawings are nevertheless interpretations of the stratigraphic layering" (Balme & Paterson, 2014, p. 34).

Reconstituting and illustrating from the proofs

The constitution of archaeological drawing as evidence stems from the inclusion of measurement in a Cartesian space, without the presence of the observer, and materialises in the publication of its diagrammatic formulation in scientific drawing, according to the technical drawing standards. There is an awareness that archaeological drawing, being a scientific representation, resulted from a selective process, which grounds the construction of the image in a process of critical evaluation. An interpretative dimension must be considered.

Once published, archaeological drawing enables the provision of representative images of the objects and materials found and studied, supporting the definition of morphometric typologies for the establishment of future interpretative frameworks. On the one hand, the synthetic study of forms gathers from their articulation with the study of provenance, sites and regions, epochs, conditions and modes of production, influences, uses, decorations, etc. On the other hand, it leads to the production of new comparisons.

With “the creation of a *corpus* of forms (...), organised chronologically or typologically” (Sousa, 1999, p. 52), taxonomies are established, in which each entry, “a schematic drawing of the form” (ibid) resulting from an “elementary geometric decomposition” (Madeira, 2002, p. 18), becomes a kind of pre-model for supporting archaeological reconstitutions of *hypothetigraphic* roots (Massironi, 1989). It should be emphasised, nonetheless, that these pre-models will only be a reference for the reconstitution drawing, as “Drawing in archaeology is descriptive” (Figueiredo, 2012, p. 78). In this context, models support the conjectural reconstitution of archaeological objects, using scale, orientation, and the geometric properties of forms: axes of reflection symmetry, contours, composition, boolean operations, etc. (images 11, 12, 13). Also, for the dimension of a building, a shelter, a site, or a region, there are pre-models for supporting the reconstitution (images 14, 15, 16, 17).

Based on the work of drawing in archaeological reconstitutions, it is possible to conjecture and combine the different variables of a moment and a site from the past, illustrating some scenarios and attempting to retell stories. Archaeological illustration is a collaborative effort based on written and drawn documentation, coeval tes-

timonies, archaeological work results, and archaeological scientific knowledge. Like the *creation of a corpus of forms* mentioned earlier, the use of enabled pre-models in archaeological illustration is also employed whenever there are gaps in knowledge that are difficult to fill. In this regard, Figueiredo (2016, pp. 7-8) used the concept of *archi-iconicity*, discussed by Cambrosio, Jacobi, and Keating (2004), to assert that “the scientific illustrator has a mental library of visual models, prototypes that will define the building to be reconstructed from the outset. These visual models, or archi-icons, are primarily based on well-preserved buildings that have escaped total ruin.” Now, the variety of doubts and consistencies of pre-models will be considerable. In this sense, particularly in the recently expanded field of virtual archaeology (i.e., computer-based visualisation applied to archaeological heritage), the same author emphasises the importance of using what he calls the “degree of historical-archaeological evidence” (Resco and Figueiredo, 2016, p. 235-247). It essentially involves the use of colour, this time as an identifying element of the quantity and quality of verisimilitude and aligns with the *London Charter for the Computer-Based Visualisation of Cultural Heritage* (2006, 2009), as well as *The Seville Principles – International Principles of Virtual Arch* (2008-2017) (cf. Bendicho, 2013).

After the mentioned strategies for conjecturing objects, environments, and scenes from the past in archaeology, it is important to highlight and address two interconnected aspects regarding reconstitution and illustration.

Ramos (2010, p. 63), recognising the need for archaeological drawing to have a scientific foundation and to benefit from technical support, especially from photography – surely not excluding computer graphics – emphasises, however, the heuristic value in the drawing of archaeological site reconstitutions. The author highlights the importance of archaeological drawing in reconstituting a site, the *hypothetical* drawing, when done in the field and during excavation. He defends this idea by arguing that drawing “gradually raises questions during its making that the archaeologist would not formulate otherwise. (...) This type of drawing serves not only to address the archaeologist’s queries but, perhaps more importantly, to pose questions.”

Now, the position of the draftsperson in space introduces another aspect worth mentioning: “a naturalistic observation, where the draftsperson (...) occupies a specific point and sees the world from that

point of view, according to the rules of linear or aerial perspective” (ibid, p. 59). In other words, with this substantive difference compared to drawing archaeological objects, where the observer was absent, it becomes clear that the selection of the point of view – the relationship of the body to space and objects – is crucial for the construction of knowledge in archaeology. To understand what a lively space, filled with complex dynamics, was like, is scientifically essential to take the place of those who were its inhabitants, users, or visitors. It will be a simulation that promotes other insights into characteristics that only the presence of the body in the container space allows us to achieve.

In the drawing and illustration of archaeology, there is a careful use of the representation systems that drawing provides. There is also a necessary refinement leading to an illustration for a scientific publication intended for the specialised audience or knowledge dissemination activities towards the general public. But regardless of the representation system structuring the drawing, the image construction processes will require time of research; a continuous process of raising and solving problems; a time of knowledge.

One final remark

Archaeology has a multitude of approaches to understanding its object of study. The intention was to emphasise archaeology’s fundamental involvement with drawing strategies and knowledge for “seeing, wanting to see, allowing to see” (Bismarck, 2021).

Naturally, these brief notes cannot cover the vast scope of the issue. They merely sought clues to design a possible analytical strategy to address the subject from the drawing’s point of view.

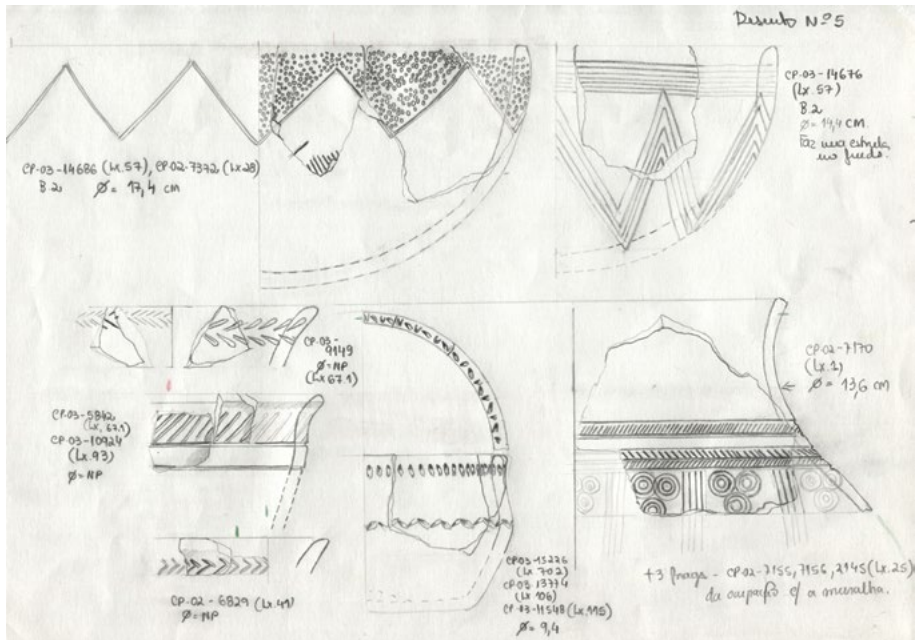
ACKNOWLEDGMENT

The author of the text would like to thank all the colleagues who contributed to this project with their drawings and expertise, with special thanks to Professor Doctor Maria de Jesus Sanches and Dr. Dulcinea Pinto.

References

- Adkins, L. & Adkins, R.A. (2009). *Archaeological Illustration* (Cambridge Manuals in Archaeology). Cambridge: University Press.
- Andrade, M.A. (2013). As placas de xisto gravadas da anta da Herdade da Lameira (Alto Alentejo, Portugal). In Carvalho, A. (Dir.) & Melo, A. A. (Coord.), *O Arqueólogo Português*, Série V, 3, 2013. Lisboa: Museu Nacional de Arqueologia e Imprensa Nacional, pp. 171-195.
- Balme, J. & Paterson, A. (Eds.) (2014). *Archaeology in Practice: A Student Guide to Archaeological Analyses* (2.^a Ed.). West Sussex: Wiley-Blackwell.
- Bendicho, V. (2013). International Guidelines for Virtual Archaeology: The Seville Principles. In: Corsi, C., Slapšák, B., Vermeulen, F. (eds) *Good Practice in Archaeological Diagnostics. Natural Science in Archaeology*. Springer, Cham.
- Bertin, J., (1967). *Sémiologie Graphique*. Paris: Gautier-Villans/Moutons.
- Bertin, J., (1977). *La Graphique et le Traitement Graphique de l'Information*. Paris: Flammarion.
- Bismark, M. [et al.] (Orgs.) (2021). *Ver, querer ver, dar a ver: desenhar entre fronteiras na Universidade do Porto*. Porto: U. Porto Press and i2ADS.
- Cambrosio, A., Jacobi, D. & Keating, P. (2004). Intertextualité et archi-icongicité: le cas desreprésentations scientifiques de la réaction antigène-anticorps. In *Études de communication* [En ligne], 27 | 2004, mis en ligne le 14 octobre 2008.
- Cardoso, J.L. & Coito, L.C. (2014-15). Correspondência de Abel Viana a José Leite de Vasconcelos: Do mérito ao reconhecimento. In Carvalho, A. (Dir.) & Melo, A. A. & Coito, L.C. (Coord.), *O Arqueólogo Português*, Série V, 4/5, 2014-2015. Lisboa: Museu Nacional de Arqueologia e Imprensa Nacional, pp. 21-83.
- Cardoso, J.L., Soares, A.M.M. & Martins, J.M.M. (2013). O povoado campaniforme fortificado da Moita da Ladra (Vila Franca de Xira, Lisboa) e a sua cronologia absoluta. In Carvalho, A. (Dir.) & Melo, A. A. (Coord.), *O Arqueólogo Português*, Série V, 3, 2013. Lisboa: Museu Nacional de Arqueologia e Imprensa Nacional, pp. 213-253.
- David-Cuny, H. (2017). Archaeological drawing and graphic documentation. A short stroll from pencil to mouse. Accessible at: https://www.academia.edu/36514048/2017_Archaeological_drawing_and_graphic_documentation_A_short_stroll_from_pencil_to_mouse_MOUSE?email_work_card=view-paper
- Edgeworth, M. (2003). *Acts of Discovery: An Ethnography of Archaeological Practice*. BAR International Series 1131. Oxford: Archaeopress.
- Edgeworth, M. (2015). From Spadework to Screenwork: New Forms of Archaeological Discovery in Digital Space. In Carusi, A, Hoel, A.S., Webmoor, T. & Woolgar, S. (Eds.) *Visualisation in the Age of Computerization*. London: Routledge, pp. 40-58.
- Fernandes, M.G. (2008). Cartografia: programa, conteúdos e métodos de ensino. Porto: Dep. Geografia da Faculdade de Letras da Universidade do Porto. Accessible at: <https://repositorio-aberto.up.pt/handle/10216/18024>
- Figueiredo, C. (2012). O Desenho e a Ilustração na Arqueologia. Descodificação de desenho e ilustração arqueológica. In *Revista Portugal Romano – Edição nº1* (Abril/Maio), V-1.0: pp. 75-80.
- Figueiredo, C. (2016) A Reconstituição Arqueológica uma tradução visual. In *Almadan online*, II SÉRIE, (20) Tomo 2, JANEIRO, 2016, pp. 6-13. Accessible at: https://issuu.com/almadan/docs/al-madanonline20_2/7
- Kunst, M. & Arnold, F (2011). Sobre a reconstrução de estruturas defensivas do calcolítico na Península Ibérica com base na torre b de Zambujal (Torres Vedras, Lisboa). In Raposo, L. (Dir.) & Melo, A. A. (Coord.), *O Arqueólogo Português*, Série V, 1, 2011. Lisboa: Museu Nacional de Arqueologia e Imprensa Nacional, pp. 429-488.

- London Charter for the Computer-Based Visualisation of Cultural Heritage* (2009). Accessible at: <http://www.londoncharter.org>
- Lopes, V. (2021). Representações, Desenhos e Imagens do Território: O contributo da Arqueologia; O Caso de Mértola. In Cardoso, V., Gonçalves, M., Rodrigues, C. (Eds.), *Representações, Desenhos e Imagens do Território*, p. 79-86. Porto: i2ADS, CEGOT and CITTA.
- Madeira, José L. (2002). *O Desenho na Arqueologia*. Coimbra: Instituto de Arqueologia.
- Massironi, M. (1989). *Ver Pelo Desenho: Aspectos Técnicos, Cognitivos, Comunicativos*. Lisboa: EDIÇÕES 70.
- Morgan, C. (et al.) (2021). Drawing and Knowledge Construction in Archaeology: The Aide Mémoire Project. In *Journal of Field Archaeology*, Vol. 46, n.º 8, p. 614-628. Routledge, Taylor & Francis Group.
- Pinto, D. C. B. (2012). O Crasto de Palheiros na Idade do Ferro. Contributo da aplicação de uma nova metodologia no estudo da cerâmica. 2012. PhD Thesis. Accessible at: <http://hdl.handle.net/10316/19994>
- Ramos, A. (2010). O desenho do natural na reconstituição arqueológica. In: Pombo, O. & Di Marco, S. (Eds.), *As Imagens com que a Ciência se Faz. Coleção A Imagem na Ciência e na Arte*. Lisboa: Editora Fim de Século, pp. 57-68.
- Resco, P.A. & Figueiredo, C. (2016). El grado de evidencia histórico-arqueológica de las reconstrucciones virtuales: hacia una escala de representación gráfica. In JAS Arqueología (eds.), *Revista Otarqu: Otras arqueologías*, N.º. 1, pp. 235-247.
- Robinson, A. H. (1953). *Elements of Cartography*. New York: Wiley.
- Sanches, M. (1997). *Pré-história Recente de Trás-os-Montes e Alto Douro (O abrigo do Buraco da Pala no Contexto Regional)*. Porto: Sociedade Portuguesa de Antropologia e Etnologia.
- Sanches, M.J. (Coord.) (2008) *O Crasto de Palheiros – Fragada do Crasto Murça – Portugal. Murça*. Murça: Município de Murça. ISBN 978-972-97337-3-4
- Sanches, M. J. & Pinto, D. C. B. (2006). Terra, madeira e pedra-materiais para a construção de um povoado proto-histórico de Trás-os-Montes: o caso do Crasto de Palheiros-Murça. In *Terra: formas de construir. Arquitectura, Antropologia, Arqueologia (10ª Mesa-Redonda da Primavera)*. Lisboa: Argumentum & Escola Superior Gallaecia, pp. 83-90. Accessible at: https://www.academia.edu/22543295/Terra_madeira_e_pedra_materiais_para_a_constru%C3%A7%C3%A3o_de_um_povoado_proto_hist%C3%B3rico_de_Tr%C3%AAs_os_Montes_O_Crasto_de_Palheiros_Mur%C3%A7a
- Sapirstein, P. (2020). Hand Drawing Versus Computer Vision in Archaeological Recording. In *Studies in Digital Heritage*, Vol. 4, No. 2, pp. 134-159.
- Serras, M. & Carneiro, A. (2011). Entre o centro e a periferia: a relação epistolar de J. Leite de Vasconcellos e Manuel Mattos Silva [a judge in Ponte de Sôr]. In Raposo, L. (Dir.) & Melo, A. A. (Coord.), *O Arqueólogo Português*, Série V, 1, 2011. Lisboa: Museu Nacional de Arqueologia e Imprensa Nacional, pp. 267-300.
- Slocum, T. A. (1999). *Thematic Cartography and Visualization*. Nova Jersey: Prentice Hall.
- Sousa, F. (1999). *Introdução ao Desenho Arqueológico*. Almada: Câmara Municipal de Almada-Museu Municipal.
- The Seville Principles – International Principles of Virtual Archaeology*. Accessible at: <http://sevilleprinciples.com>
- Ville, G. (1968). *Dictionnaire de l'archéologie*. Paris: Librairie Larousse.
- Zilhão, J. (1997) (Coord.). *Arte Rupestre e Pré-História do Vale do Côa – Trabalhos de 1995-1996: Relatório Científico ao Governo da República Portuguesa Elaborado nos Termos da Resolução do Conselhos de Ministros N.º 4/96, de 17 de Janeiro*. Lisboa: Ministério da Cultura.

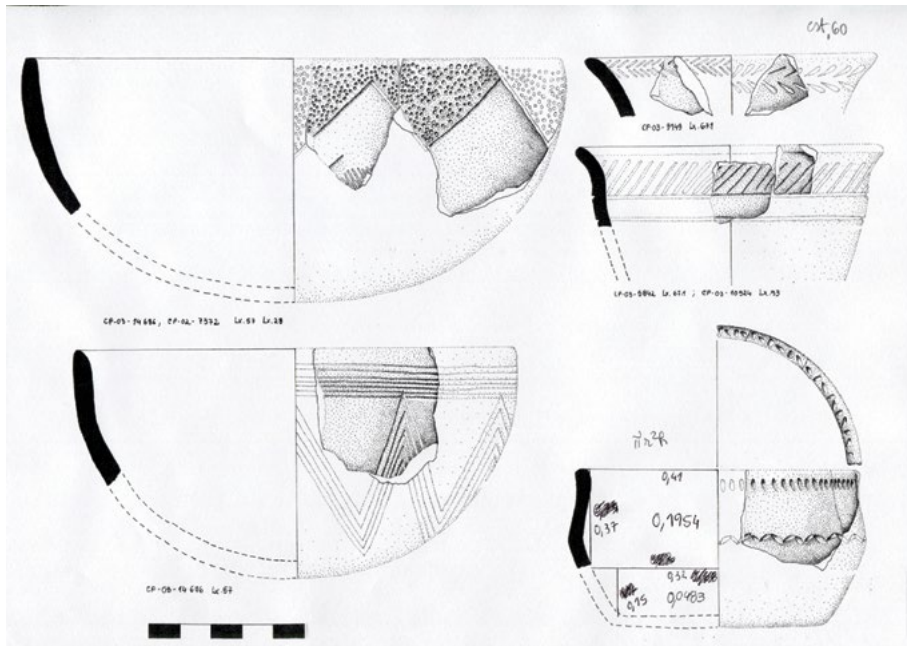


- 1 *Vasos decorados da Idade do Ferro do Crasto de Palheiros (7) - 1º desenho com os apontamentos essenciais para posterior tintagem (perfil, decoração, apontamentos contextuais) / Decorated Iron Age containers from Crasto de Palheiros (7) - 1st drawing with essential notes for later inking (profile, decoration, contextual notes).*

Dulcineia Pinto, s.d.

Grafite sobre papel / Graphite pencil on paper, 21 x 29,7 cm

Departamento de Ciências e Técnicas do Património / Department of Heritage Sciences, FLUP

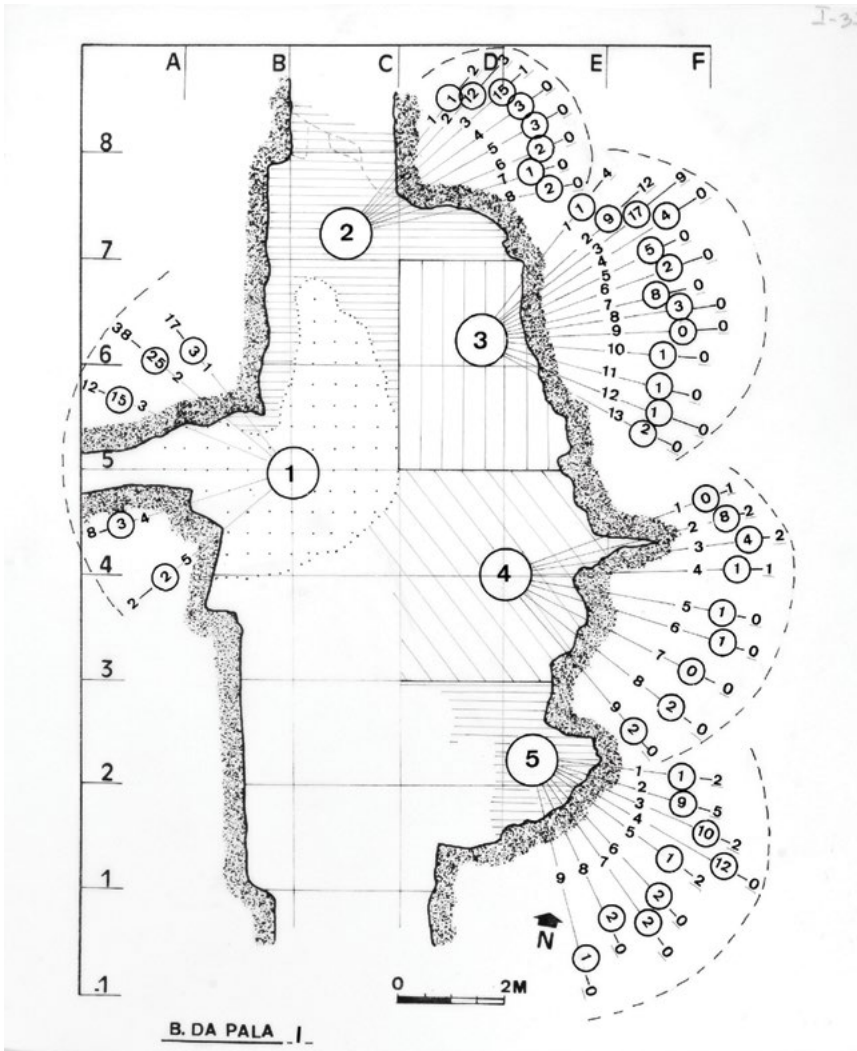


- 2 *Cerâmicas decoradas da Idade do Ferro do Crasto de Palheiros - fotocópia com apontamentos sobre o tamanho de um vaso de forma a obter a litragem aproximada / Decorated Iron Age ceramics from Crasto de Palheiros - photocopy with notes on the size of a container to obtain an approximate volume.*

Dulcineia Pinto, s.d.

Fotocópia de desenho final tintado com anotações a esferográfica / Photocopy of the final inked drawing with ballpoint pen annotations, 21 x 29,7 cm

Departamento de Ciências e Técnicas do Património / Department of Heritage Sciences, FLUP



Est..... : Distribuição espacial dos recipientes "globulares" e das "taças", por categorias volumétricas, adentro das zonas 1, 2, 3, 4 e 5, que se distinguem pelo tipo de tracejado ou, no caso da zona 1, por pontilhado. É indicada a zona, por ex. 5, da qual partem linhas. Estas contêm 3 séries de números, que indicam, de dentro para fora: a categoria (capacidade) de 1 a 13, o número de recipientes "globulares" adentro da mesma categoria (inscritos num círculo), seguido do número de "taças" também da mesma categoria. Por ex., na zona 5, e para a categoria 1 (0,02-05 litros.) existe 1 recipiente "globular" e 2 "taças"; para a categoria 4 (5,01-10 litros.), na mesma zona 5, existem 12 recipientes "globulares" e nenhuma "taça". Recipientes "globulares" incluem as formas 1,2., 3B+C e 5; as "taças" incluem as formas 3A, 4 e 7.

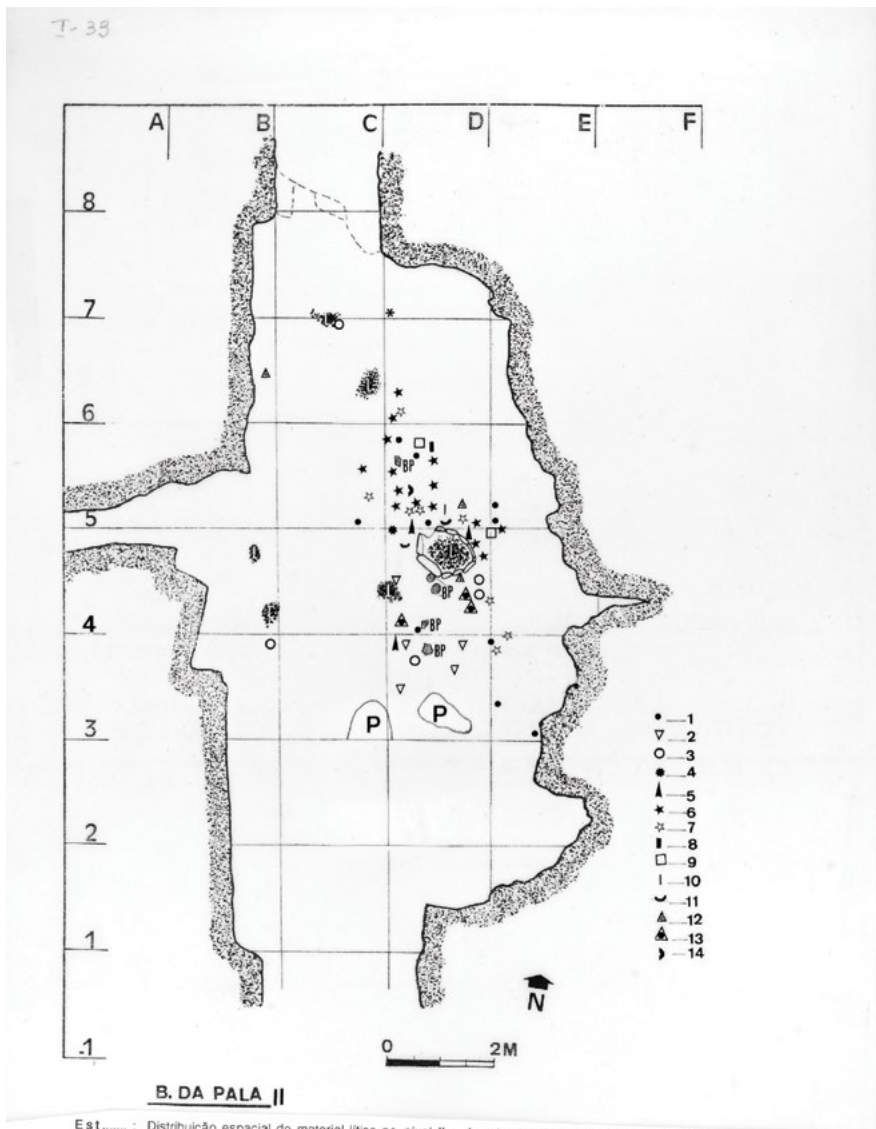
- 4 *Distribuição espacial, em planta, dos recipientes cerâmicos por volumetria (litragem)/categorias, sendo indicadas 5 áreas funcionais: 1- área de preparação e consumo de alimentos; 2, 3, 4, e 5- áreas de silagem/armazenamento de bolota, fava, trigo, cevada em recipientes cerâmicos. Buraco da Pala/ Abrigo em fenda rochosa / Spatial distribution, in plan, of ceramic vessels by volume (litres)/categories, five functional areas being indicated: 1- area for preparing and consuming food; 2, 3, 4, and 5- areas for silaging/ storing acorns, beans, wheat, barley in ceramic vessels. Buraco da Pala/ Rock crevice shelter.*

Maria de Jesus Sanches, s.d.

Tinta-da-china sobre impressão em papel vegetal

/ Chinese ink on printed tracing paper, 31,2 x 21 cm, 1:80

Departamento de Ciências e Técnicas do Património / Department of Heritage Sciences, FLUP



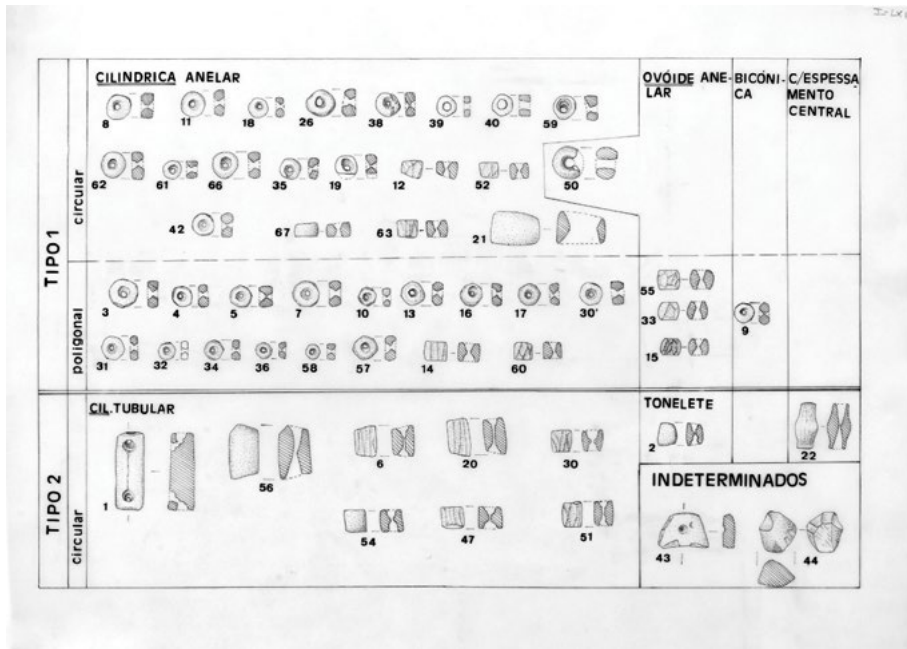
- 5 *Distribuição espacial, em planta, dos instrumentos em rocha e/ou mineral, talhados e polidos. L-Lareira; BP-buraco de poste; P-Penedo. Buraco da Pala/ Abrigo em fenda rochosa / Spatial distribution, in plan, of rock and/or mineral tools that are carved and polished. L-Fireplace; BP-Post hole; P-Rock. Buraco da Pala/ Rock crevice shelter.*

Maria de Jesus Sanches, s.d.

Tinta-da-china sobre impressão em papel vegetal

/ Chinese ink on printed tracing paper, 31,3 x 21 cm, 1:80

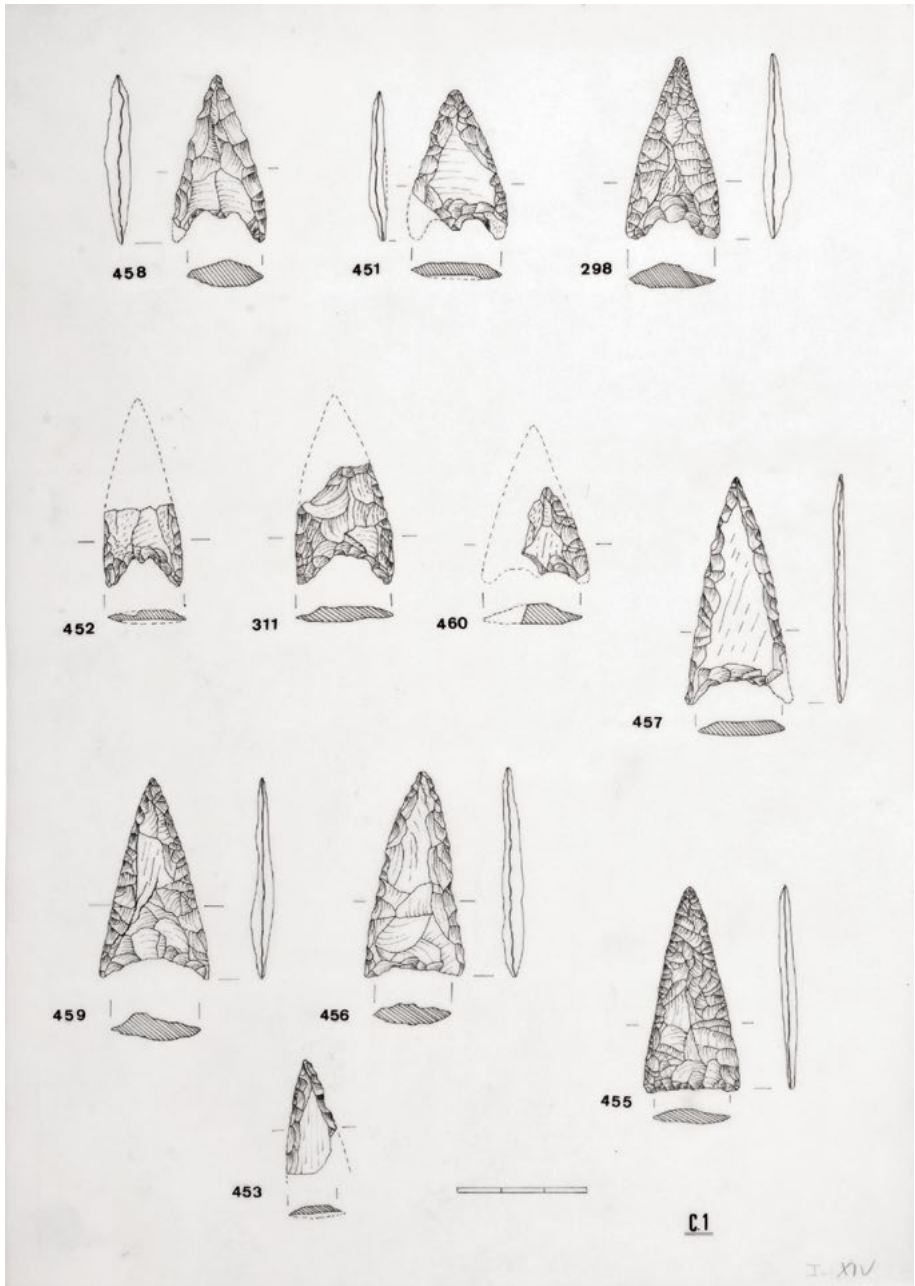
Departamento de Ciências e Técnicas do Património / Department of Heritage Sciences, FLUP



- 6 *Desenho de materiais/instrumentos e recipientes arqueológicos. Instrumentos polidos - Buraco da Pala/Abrigo em fenda rochosa. Quadro interpretativo-tipológico e desenho de contas de colar verdes, em variscite / Drawing of archaeological materials/ instruments and containers. Polished stone instruments - Buraco da Pala/ Rock crevice shelter. Interpretive-typological table and drawing of green variscite necklace beads.*

Maria de Jesus Sanches, s.d.

Tinta-da-china sobre papel vegetal / Chinese ink on tracing paper, 21 x 29,7 cm
Departamento de Ciências e Técnicas do Património / Department of Heritage Sciences, FLUP



- 7 *Desenho de materiais/instrumentos e recipientes arqueológicos.*
Instrumentos talhados-Buraco da Pala/Abrigo em fenda rochosa. Pontas de seta.
/ Drawing of archaeological materials/instruments and containers.
Carved stone tools - Buraco da Pala/ Rock crevice shelter. Arrowheads.

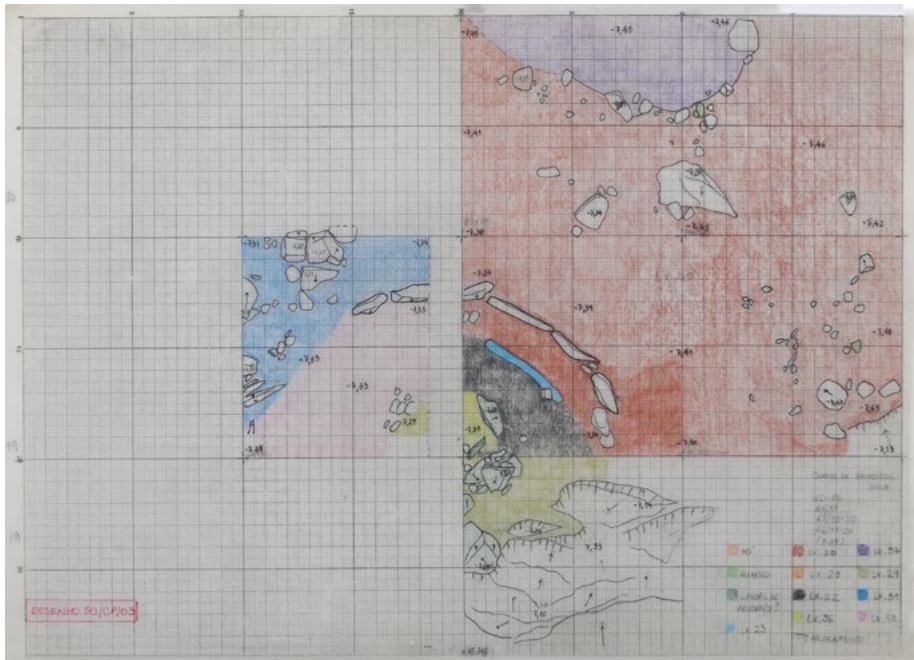
Maria de Jesus Sanches, s.d.

Tinta-da-china sobre papel vegetal / Chinese ink on tracing paper, 29,7 x 21 cm, 1:80
 Departamento de Ciências e Técnicas do Património / Department of Heritage
 Sciences, FLUP



- 8 *Crasto de Palheiros-Murça- Plataforma Inferior Norte: corte estratigráfico. Desenho de campo. Indicação das Unidades estratigráficas (Lx.) e outra informação, como o local de recolha de amostras de carvão para C14 (datação) / Crasto de Palheiros, Murça – Lower North platform: Stratigraphic cut. Field drawing. Indication of stratigraphic Units (Lx.) and other information, like coal samples collection site for C14 dating.*
 Dulcineia Pinto, 2003

Grafite, esférogáfica e lápis de cor sobre papel milimétrico / Graphite pencil, coloured pencil, and ballpoint pen on millimetre graph paper, 29,7 x 42 cm, 1/20
 Departamento de Ciências e Técnicas do Património / Department of Heritage Sciences, FLUP

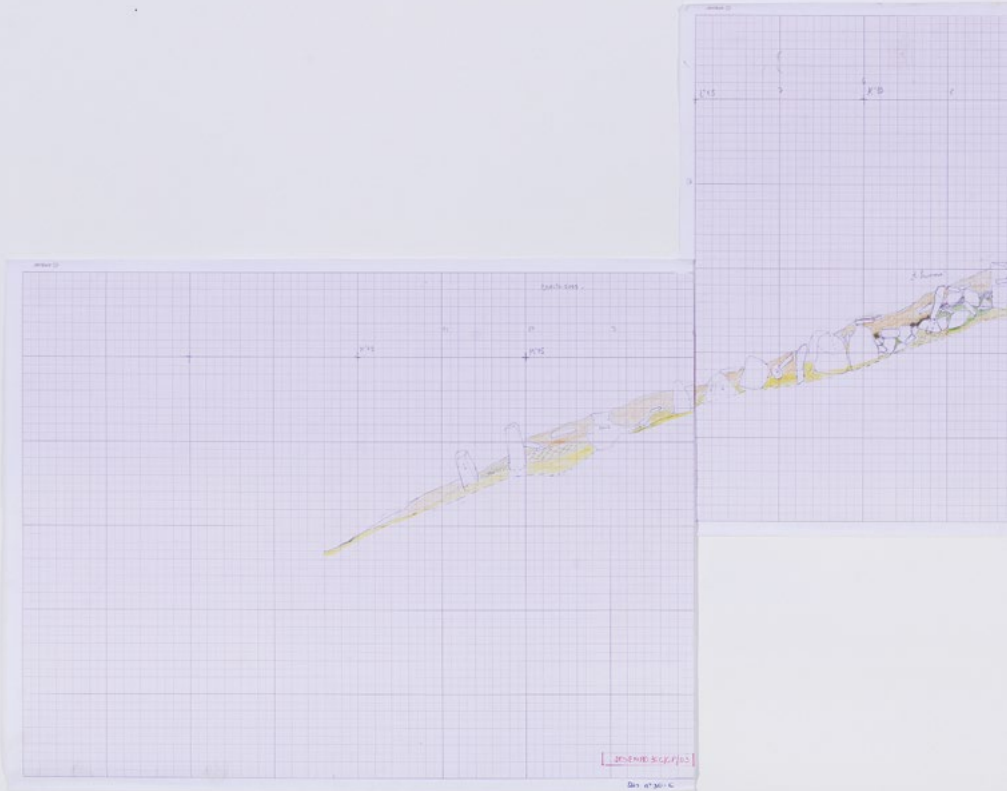


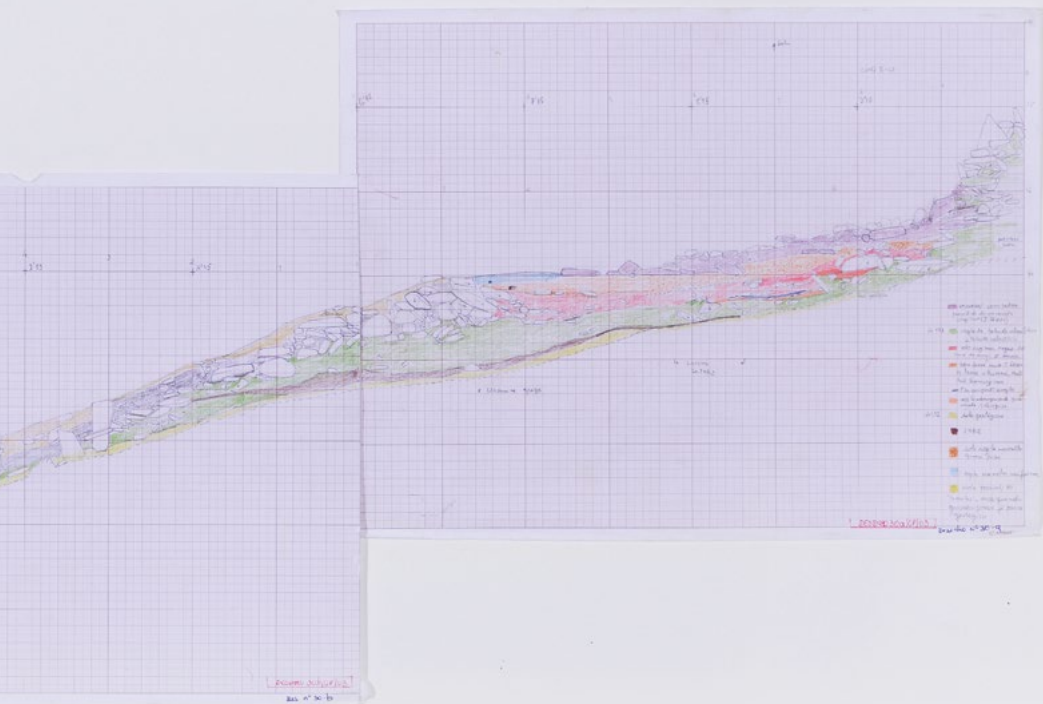
- 9 *Crasto de Palheiros-Murça. Estrutura Subcircular Norte 1 (ESN1). Indicação das Unidades estratigráficas em planimetria (Lx.) e outra informação (cotas-profundidades) / Crasto de Palheiros, Murça – North subcircular structure 1 (ESN1). Indication of stratigraphic Units in planimetry (Lx.) and other information (elevations-depths).*

Maria de Jesus Sanches, 2003

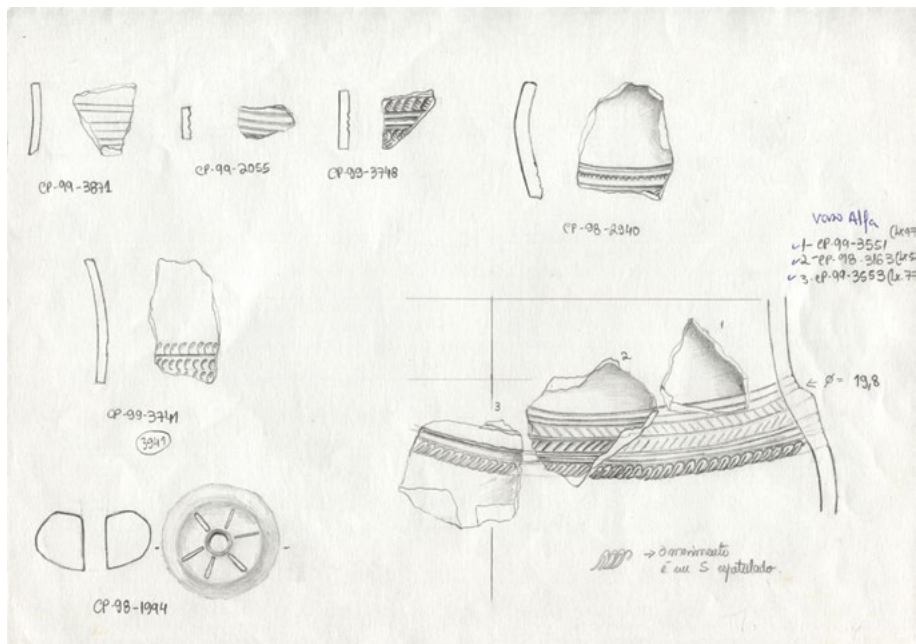
Tinta-da-china, grafite e lápis de cor sobre fotocópia de papel milimétrico impressa em papel vegetal / Chinese ink, graphite pencil, and coloured pencil on a copy of a millimetre graph paper printed on transparent tracing paper, 29,7 x 42 cm, 1/20

Departamento de Ciências e Técnicas do Património / Department of Heritage Sciences, FLUP

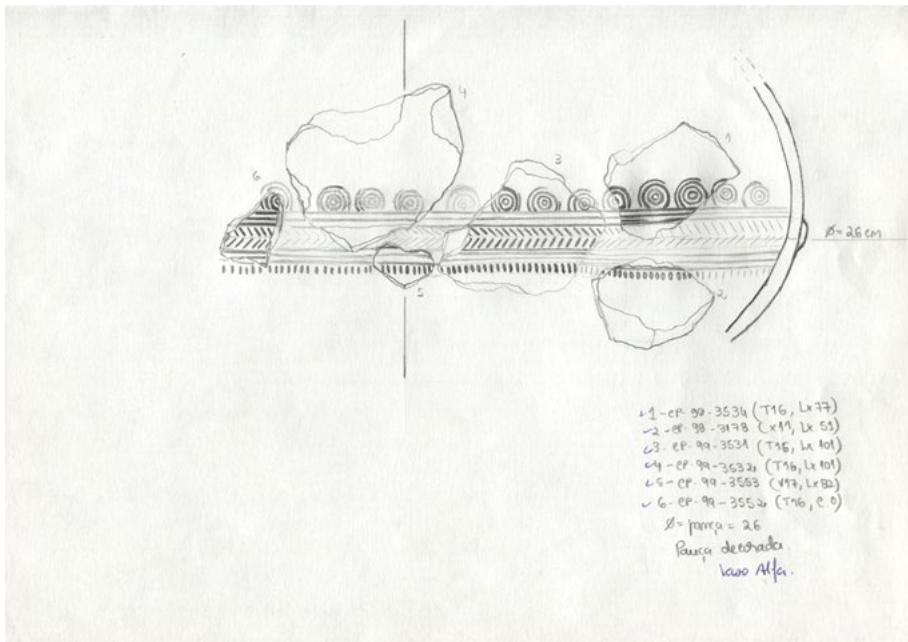




- 10 *Craсто de Palheiros-Murça- Corte estratigráfico Sul do Talude Exterior Leste. Desenho de campo. Indicação das Unidades estratigráficas (Lx.) e outra informação / Craсто de Palheiros, Murça - South stratigraphic cut of the Exterior East Slope. Field drawing. Indication of stratigraphic Units (Lx.) and other information.*
 Maria de Jesus Sanches, 2002-03
 Grafite e lápis de cor sobre papel milimétrico / Graphite pencil and coloured pencil on millimetre graph paper, 66,4 x 111,4 cm, 1/20
 Departamento de Ciências e Técnicas do Património / Department of Heritage Sciences, FLUP



- 11 *Desenho/esboço do colo do vaso Alfa da Idade do Ferro, encontrado na Plataforma Inferior Leste no Crasto de Palheiros / Drawing/Sketch of the Alfa pot neck of the Iron Age, found on the lower East platform at Crasto de Palheiros.*
 Dulcineia Pinto, s.d.
 Grafite sobre papel / Graphite pencil on paper, 21 x 29,7 cm
 Departamento de Ciências e Técnicas do Património
 / Department of Heritage Sciences, FLUP

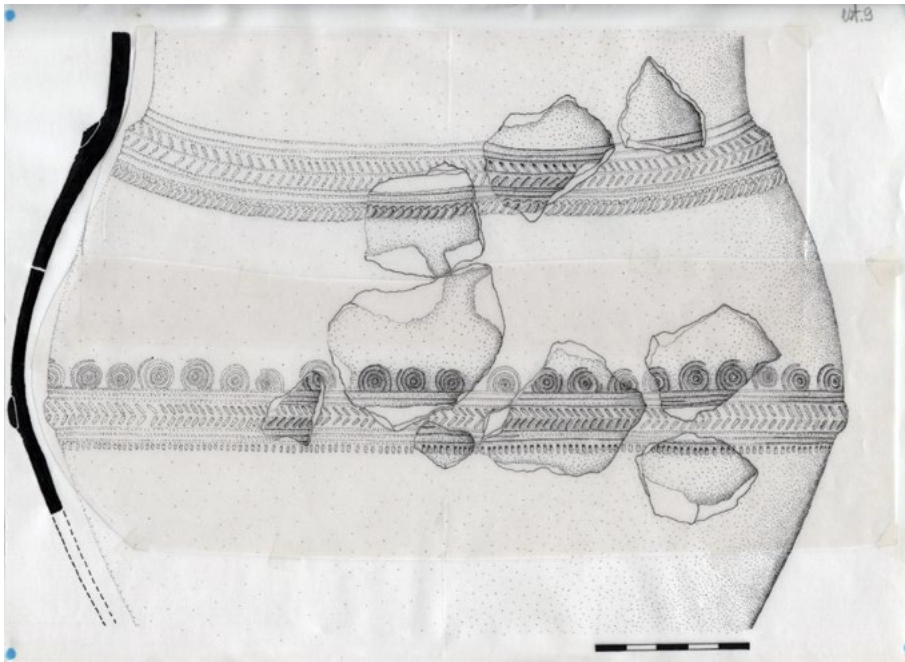


- 12 *Desenho/esboço da pança do vaso Alfa da Idade do Ferro, encontrado na Plataforma Inferior Leste no Crasto de Palheiros / Drawing/Sketch of the Alfa pot body of the Iron Age, found on the lower East platform at Crasto de Palheiros.*

Dulcineia Pinto, s.d.

Grafite sobre papel / Graphite pencil on paper, 21 x 29,7 cm

Departamento de Ciências e Técnicas do Património / Department of Heritage Sciences, FLUP



- 13 *Desenho da montagem final para tintagem do vaso Alfa da Idade do Ferro, encontrado na Plataforma Inferior Leste no Crasto de Palheiros. For the final drawing of the Alfa pot body of the Iron Age, found on the lower East platform at Crasto de Palheiros.*

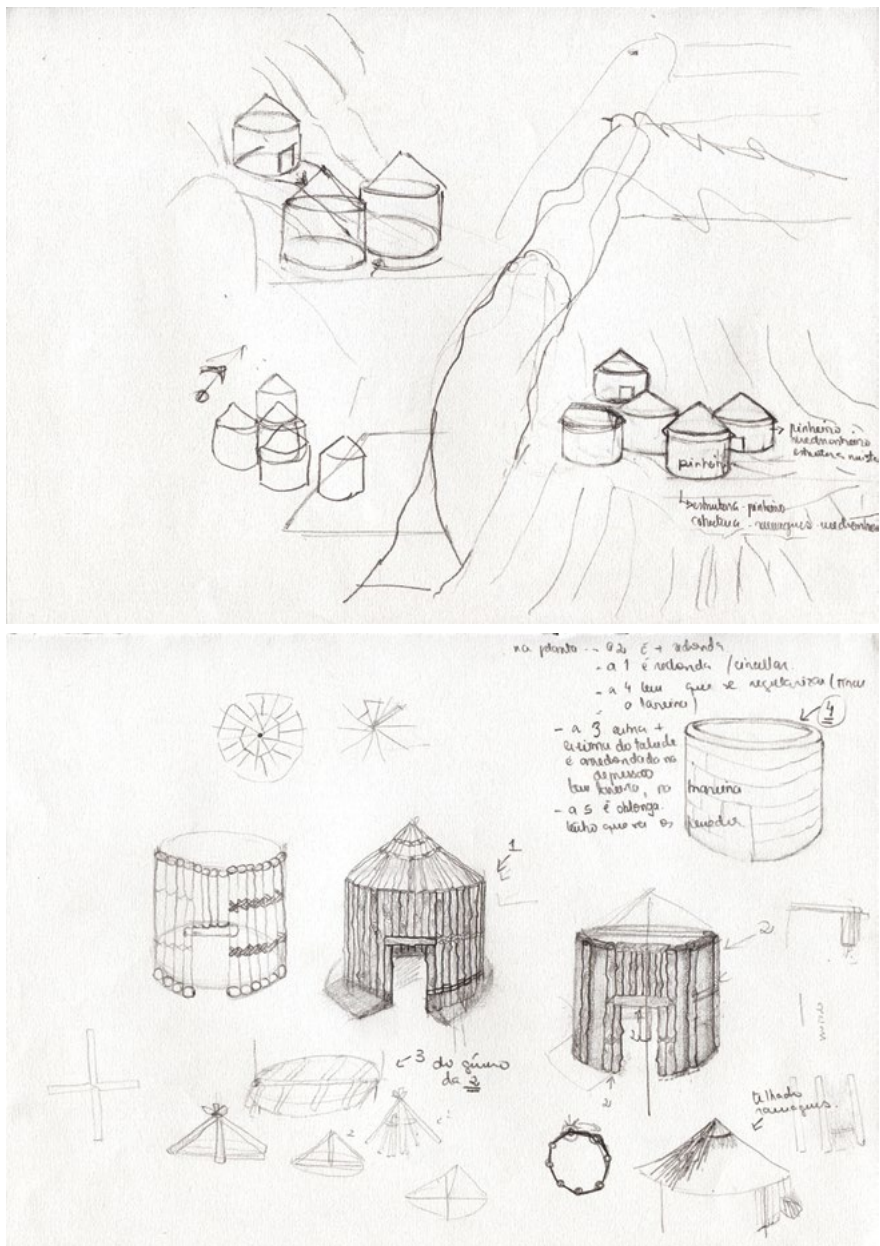
Dulcineia Pinto, s.d.

Caneta de tinta-da-china sobre papel vegetal e colagem

/ Graphite pencil on paper, 21 x 29,7 cm

Departamento de Ciências e Técnicas do Património

/ Department of Heritage Sciences, FLUP



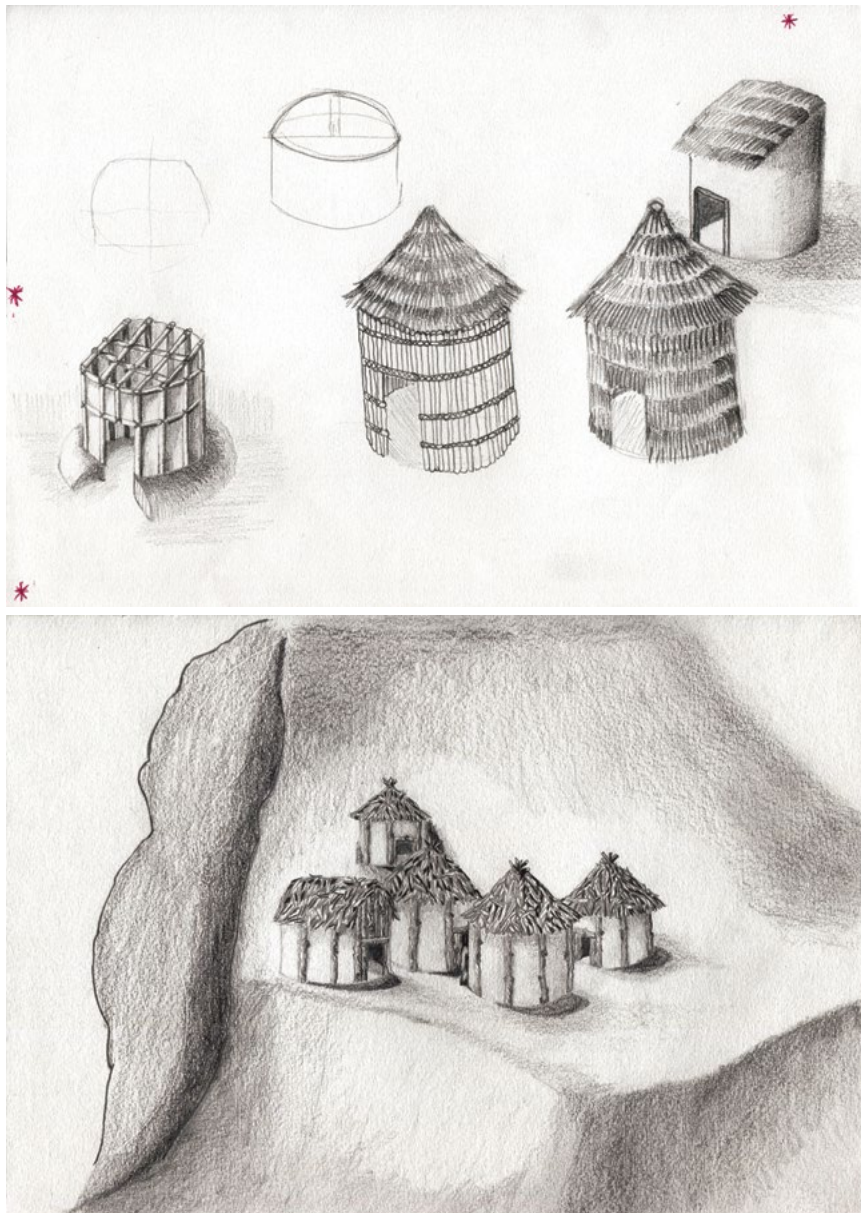
14 *Habitações implantadas na encosta do Crasto de Palheiros – Esboço / Houses settled on the slope of Crasto de Palheiros – Sketch.*

15 *Tipos de construções de habitações da Idade do Ferro – Estudo baseado na análise dos contextos escavados / Different types of Iron Age housing constructions - Study based on the analysis of excavated contexts.*

Dulcineia Pinto, s.d.

Grafite sobre papel / Graphite pencil on paper, 21 x 29,7 cm

Departamento de Ciências e Técnicas do Património / Department of Heritage Sciences, FLUP



- 16 *Tipos de construções de habitações da Idade do Ferro - Paredes, tetos e anteparos totalmente em madeira ou madeira conjugada com terra batida / Different types of Iron Age housing constructions – Walls, roofs, and partitions fully made of wood or a combination of wood and packed earth*
- 17 *Habitações da Idade do Ferro, de paredes retas em terra batida e estrutura de troncos de madeira com teto cônico de ramagens, implantadas na encosta do Crasto de Palheiros - desenho final / Iron Age housing constructions with straight rammed earth walls and a wooden trunk structure with a conical roof of tree branches, settled on the slope of Crasto de Palheiros – final drawing.*

Dulcineia Pinto, s.d.

Grafite sobre papel / Graphite pencil on paper, 21 x 29,7 cm

Departamento de Ciências e Técnicas do Património / Department of Heritage Sciences, FLUP

*As práticas de desenho na Faculdade
de Arquitectura da Universidade do Porto:
método, investigação, teoria*

Vítor Silva

In memoriam, Alberto Carneiro, 1937-2017

“Sketching and drawing are spatial and haptic exercises that fuse the external reality of space and matter and the internal reality of perception.”

Juhani Pallasmaa

“The eye guides the hand, but the hand has, as it were, a mind of its own.”

David Ross Scheer

“Disciplina: tão pouca quanto possível.”

Álvaro Siza

1.

Nas últimas décadas, no contexto da pedagogia e do ensino, a Faculdade de Arquitectura da Universidade do Porto tem vindo a debater o seu próprio campo de investigação em desenho. Como consequência da condição excepcional da sua história, o desenho perdura enquanto propósito fundamental, cujo objectivo cruza múltiplas e simultâneas interrelações práticas e teóricas sobre o papel das imagens e da imaginação na relação com a experiência corporal e subjectiva dos espaços e da arquitectura (Carneiro, 1995; Silva, 2021).

Meio privilegiado do pensamento visual, o desenho activa as possibilidades do ver e do dar a ver, bem como a potencialidade de figurar e representar aquilo que não existindo, porque ainda invisível, pode vir a existir como forma, expressão, espacialidade. As práticas do desenho existem assim intensificadas pelas exigências do exercício projectual e conceptual da arquitectura, orientando uma multiplicidade de modos e de procedimentos gráficos que vão desde o simples esquisso até aos desenhos rigorosos. Os desenhos efectivam, desta maneira, uma *separada mediação* entre o papel da imaginação e a realidade construída, mas também uma aprendizagem sensível e intelectual, através da qual se articula o processo da sua *mútua integração*, onde tem lugar não só a percepção e a produção da arquitectura como ainda os livres e divergentes usos da sua potencialidade expressiva.

Na estrutura formativa que constitui o curso da FAUP e o seu respectivo plano de estudos têm surgido propostas de novas unidades curriculares com o sentido de combinar o sentido da sua reflexão prática e crítica, atendendo ao domínio mais alargado da cultura visual do projecto e da concepção arquitectural.

O desenho na FAUP tem incorporado esta dimensão operativa, pragmática, também plástica e expressiva, de grande impacto e pertinência no confronto com as questões centrais do ensino de projecto, cuja omnipresença está patente nos distintos campos de estudo, como a teoria, a história e, claro está, a construção. Hoje, assiste-se a uma ampla problematização do seu âmago formativo e pedagógico, tendo em conta a sua cultura e a sua própria história, sobretudo, através da existência de um conjunto significativo de trabalhos, reflexões, investigações e dissertações de mestrado.

A natureza e a complexidade destes estudos tendem a observar e a analisar a interdependência fundamental entre desenho e projecto, e a desafiar a centralidade da mesma, no sentido de compreender as distinções epistemológicas, o método e as necessidades que lhe estão intrinsecamente associadas, e que constituem, substancialmente, matéria crucial da pedagogia, da sua doutrina e teoria.

Importa, todavia, considerar que o sentido originário e experimental do desenho, naquilo que constitui a base da sua aprendizagem e adequação instrumental, técnica e expressiva, decorre, paralelamente, de uma pedagogia autónoma e independente dos problemas da ideação projectual (Lopes, 2021, *passim*). Este ensino, permite considerar, em complementaridade, um campo teórico-prático de

exercícios centrados nos propósitos de observação do real – objectos, espaços e figura humana – que, ao promover a diversidade de “modos gráficos” – esquisso, esboço, detalhe – (Vieira, 2009, p. 35-38), atende aos aspectos da representação da forma, da apreensão das medidas e proporções, da perspectiva, do claro-escuro e das cores, tendo por intuito desenvolver o desenho “à mão levantada”, e, no seu conjunto, constituir-se como uma prática autónoma, livre e expressiva.

Nesta visão de conjunto, o desvelar de aspectos empíricos e de procedimentos heurísticos, característicos desta diversidade de contextos e abordagens disciplinares, tende a articular-se hoje com a suspeita de uma “crise” configurada pela entrada triunfante das tecnologias digitais, pela existência de programas computacionais – CAD e BIM, etc. – pelo uso do iPad e outros meios disponíveis, que, manifestamente, têm colocado à prova a validade intrínseca da experiência gráfica e plástica, conferida pela prática do desenho, e a partir dos quais se relança o debate em torno das representações e dos seus usos; debate em si mesmo aspirado pela vertigem tecnológica das imagens e pela auto-suficiência da simulação computacional (Scheer, 2014, p. 6). Soma-se ainda a esta condição genérica, que atravessa múltiplos aspectos da vida e da contemporaneidade, outra condição de fundo, mais arcaica e primitiva, ou seja, originária, onde se inscreve a razão de ser do *fazer* e da *imaginação* gráfica: aquela que advém, por um lado, da história e da cultura visual – estética, ética e política – e, por outro, de uma perspectiva antropológica, centrada no pulsar dos *sin-tomas* visuais por onde se manifesta a *sobrevivência* e a *vida póstuma* das imagens.¹

Com a prática naturalizada dos sempre eternos “novos meios” tecnológicos de representação, de “modelação” e de simulação visual, cabe às tradicionais e prosaicas práticas de desenho discutir os artifícios e a dissensão que, em si mesmas, elas incentivam e mobilizam, não apenas cultural e historicamente, mas sobretudo enquanto repositório fenomenológico e epistemológico de uma experiência *não conclusiva* das imagens que incide sobre a vasta produção visual (e gráfica) da arquitectura.

1 "Trata-se de influências que entram no subconsciente e que entram no projecto sem que nos apercebamos disso (...) Apreender a ver é fundamental para um arquitecto, existe uma bagagem de conhecimentos aos quais inevitavelmente recorreremos, de modo que nada de quanto fazamos é absolutamente novo" Siza (2000, p. 139). Sobre estas noções: H. Belting (2014) e G.Didi-Huberman, (2013).

Fazendo eco dos propósitos da investigação científica e da reflexão auto-crítica assente, em particular, nos desenhos e projectos, nas pesquisas e na interpretação pessoal dos percursos formativos de estudantes e investigadores, alguns estudos realizados na FAUP permitem observar a hipótese de uma visão abrangente daquilo que foi, tem sido e procuram ser os meios, os motivos e razões da formação intelectual.

Nestes estudos, incluem-se necessariamente as inúmeras incursões, citações e referências incontornáveis à obra de Álvaro Siza e, em particular, aquelas que se reportam à sua profícua e importante actividade desenhativa. Todavia, continua ainda por distinguir, por entre a consideração empírica das práticas, que domina os discursos doutrinários sobre desenho, qual é a *experiência de conhecimento*, intrínseca ao discurso teórico, que questiona verdadeiramente os “usos” do desenho em arquitectura (Boudon, 2003, p. 5-12).

2.

A partir das últimas cinco décadas de finais do século XX, a arquitetura de Álvaro Siza, o seu crescente impacto internacional, combinada com a divulgação da sua fluida e exuberante actividade gráfica, tornou-se um marco e uma matriz fundamental no reconhecimento de um método e das suas circunstâncias, cujo modelo possível e relevantes contribuições críticas permitem compreender a natureza oficial e a condição laboratorial dos seus processos de trabalho e pensamento, e, ainda traduzir, no terreno das intervenções e da construção, uma referência para o próprio campo de ensino².

A força e a coerência dos processos gráficos de A. Siza, e, em especial, a singularidade dos seus desenhos, não propriamente de projecto, enquanto configurações livres e fantasiosas, adquirem assim uma surpreendente novidade. A fluência, quase estenográfica, do esquisso³, no modo imperativo do gesto e do aparente improvisado que caracterizam

2 O projecto Saal foi esse laboratório que conduziu a uma metodologia própria de intervenção.

3 «Não existe grande diferença entre o processo de escrita e o do desenho de tal modo que em definitivo não sou capaz de dizer como desenho um objecto ou a própria arquitectura», Siza (2000, p. 17). «A relação entre o esquisso, o trabalho digital e a maqueta a partir do início de um projeto» foi o tema de aula aberta de A. Siza na FAUP em 22 de fevereiro de 2017.

esses desenhos, ritma os espaços observados, as figuras imaginadas, as combinações “indisciplinadas”, bem como os registos quotidianos suscitados pela percepção imediata e urgente, pela vida do apontamento avulso, sempre inferidos pelo andar pulsante da esferográfica, pelo vai-vém de problemas e sobreposições, de soluções, de emendas e desvios. Neste processo, onde a potência visual e háptica está patente, o desejo e a insatisfação permeiam o fluxo dos registos visuais que o desenhador continuamente refaz, redesenha e corrige, vezes sem conta. Uma vez abertos os seus cadernos de trabalho, neles encontram-se notas íntimas, retratos dos amigos, paisagens, anjos, animais, posturas e movimentos; incursões de tempos remotos, rememorações e fulgurações instantâneas. Nesses *intermezzi*, por entre a evocação de um lugar ou de um projecto em curso, as figurações estimulam, de facto, um campo divergente, uma necessidade de evasão, mas também a descontração, a “razão” intuitiva e espontânea que, ao mesmo tempo, permite reorientar a incontornável exigência de concentração da “razão” projectual.

Hoje, a bibliografia dedicada à obra de A. Siza perfaz uma poderosa torrente de publicações, de estudos e, sobretudo, de imagens, onde, para além da lógica comunicacional e retórica dos seus projectos, através da fotografia e das representações técnicas rigorosas, dos inúmeros escritos e entrevistas, dos múltiplos ensaios e artigos, de carácter doutrinal e/ou teórico, se exprime um universo muito singular do desenho, revelador da força orgânica e plástica da linha, de uma *linha sem princípio e sem fim*: uma *linha do meio*, interior à própria linha. Com efeito, a intensidade da linha elege o *meio* como processo e material, como instinto de forma e função: trata-se de uma linha originária, íntima e primitiva, ao mesmo tempo abstracta e figural, mas cuja produção de visualidade instaura, de facto, a irrupção simultânea do afecto, do gesto e do espaço.

Na subtil e exuberante exemplaridade gráfica de A. Siza, trata-se de perceber a inquietação desta linha que não delimita, mas antes percorre as formas, intensificando-lhes as forças e as tensões; uma linha que traduz na sua condição dinâmica e emotiva a evidência da sua “razão” superlativa. Como traço de diferença entre proporção, medida e escala, os esboços de A. Siza configuram a paradoxal existência (in)visível e (i)limitada daquilo que tocam e apreendem. Com esta disponibilidade figural, o desenho de A. Siza combina a diversidade de múltiplas e heterogêneas possibilidades contaminando a natureza dos esquemas, esboços e demais sistemas de representação, polarizando e animando a abstracção e o inorgânico.

Se bem que a natureza da comunicação dos projectos de A. Siza, contemple, inevitavelmente, a condição canónica, convencional e incontornável das representações gráficas rigorosas, a qual beneficia, actualmente, da eficácia técnica da computação, ao amplificar o carácter informativo dos pormenores construtivos e, também, a sua imperiosa e dominante presença, compreende-se como ainda os traços moven-tes da esferográfica manifestem a latente corporalidade e rememoração que estão subjacentes ao pensamento figurativo da arquitectura.

3.

“Il disegno rappresenta qualcosa di più che un semplice strumento operativo esterno (...) proponendosi al contrario come sorta di protesi mentale che consente l’effettualità del pensiero.”

R. de Rubertis

Se a *moderna tradição* do desenho de A. Siza, por um lado, estimulou e ressurgiu, insistentemente, enquanto “modelo” singular de uma prática projectual e criativa, por outro, a livre e espontânea adopção do desenho, dos seus diferentes propósitos figurativos e artísticos, advêm de uma morada por longos anos partilhada na Escola de Belas-Artes do Porto. A proximidade com a cultura das *belas-artes* foi especialmente determinante para as *artes do desenho*, num momento-chave de abertura e de transição histórica da Escola, então promovida pelo arquitecto Carlos Ramos.

Nos anos ainda de ditadura, muitas das transformações artísticas e sociais que entretanto aconteciam e chegavam de fora, permitiram acolher a diversidade de experiências e correntes estéticas *modernas*, as quais, após a revolução de 25 de abril de 1974, tiveram por consequência a ousada contraposição de dissensões, não apenas episódicas e estéticas, mas manifestamente políticas, patentes na disformidade de propostas utópicas, provocadoras e deliberadamente conscientes de uma “recusa do desenho”. Com efeito, no ensino da arquitectura, verificar-se-ia, mais tarde, com algum humor, que a “prática da revolução” conduzira a uma nova “emergência do desenho” (Bandeira, P. e N. Faria, *apud* Silva, 2021, p. 141).

O pintor Joaquim Vieira e o escultor Alberto Carneiro (Carneiro, 1995; Vieira, 1995; Silva, 2011, s/p e 2021, p. 141),⁴ correspondendo à ideia original do arquitecto Fernando Távora, foram protagonistas desta sequência histórica, na qual se combinaram duas diferentes concepções sobre a função do desenho e a sua pertinência pedagógica. À importância atribuída ao desenho de observação do real – o *desenho do natural* – e ao sentido da experiência fenomenológica que implica *existir para e no desenho*, conjugavam-se, perante a complexidade dos problemas de concepção/imaginação do projecto, os gestos e as intenções de um *desenho que deseja existir* e nos quais se auto-constituía a subjectividade e o pensamento do desenhador. Esta dupla articulação, entre o domínio do observável – a representação e a expressão do mundo exterior – e a livre figuração do pensável enquanto hipótese projectual, deu forma a uma ideia contrastante, mas produtiva, do desenho, mostrando de modo preciso dois diferentes campos de actuação e experimentação pedagógica. As premissas teóricas e práticas então desenvolvidas, permitiram discriminar e articular uma mútua e necessária inter-relação, cuja divisão de princípio se estrutura em objectivos, dinâmicas e didácticas complementares. Todavia, a distinção de fundo decorre, sobretudo, da articulação entre *percepção e espaço de concepção*, e da compreensão que implica, muito em especial, a complexidade das medidas, das proporções e da(s) escala(s), nos diferentes e pertinentes ambientes de estudo.

No campo disciplinar do ensino de projecto, não há propriamente uma indistinção entre desenho e projecto, mas sim “dois planos consubstanciais da acção plástica”, onde a necessidade projectual incita a necessidade gráfica e vice-versa (Cardoso, 2021, p. 126). Assim, se no decurso da experiência visual, o desenho de *percepção* estimula a apreensão da *medida sensível*, ou seja, um modo de sentir e inferir as formas e os espaços, no *espaço de concepção*, o desenho, nos seus variados modos de actuação, ensaia a probabilidade e a ideia, isto é, a *abdução* sensível de medidas e escalas a que se referem hipóteses de forma e de configuração dos espaços. A exemplo do campo restritivo e disciplinar do desenho, cujas incidências evidenciam função perceptiva e cognitiva, o campo holístico e aberto do *desenho-projecto*, ao considerar o âmbito do método, como plano de auto-reflexão,

4 Refira-se também o relevante papel pedagógico do pintor António Quadros (1933-1994), no período compreendido entre 1985 e 1994.

torna evidente o campo da intuição e da heurística – da *indisciplina* –, que constitui, através da variedade e da (in)discriminação gráfica, os modos atentos de procura e incerteza, de “tentativa e erro”, de ensaio e dúvida, de necessidade e acaso, de reiterada hipótese e incessante transformação (Cardoso, 2021, p. 125). Assim, no entendimento dos procedimentos que constituem o *espaço de concepção* “cada impulso desenhado abre e fecha portas no labirinto de possibilidades vislumbradas (...) [e] estabelece o método de aproximação à materialização das ideias” (Cardoso, *idem*) (Fig. 1).

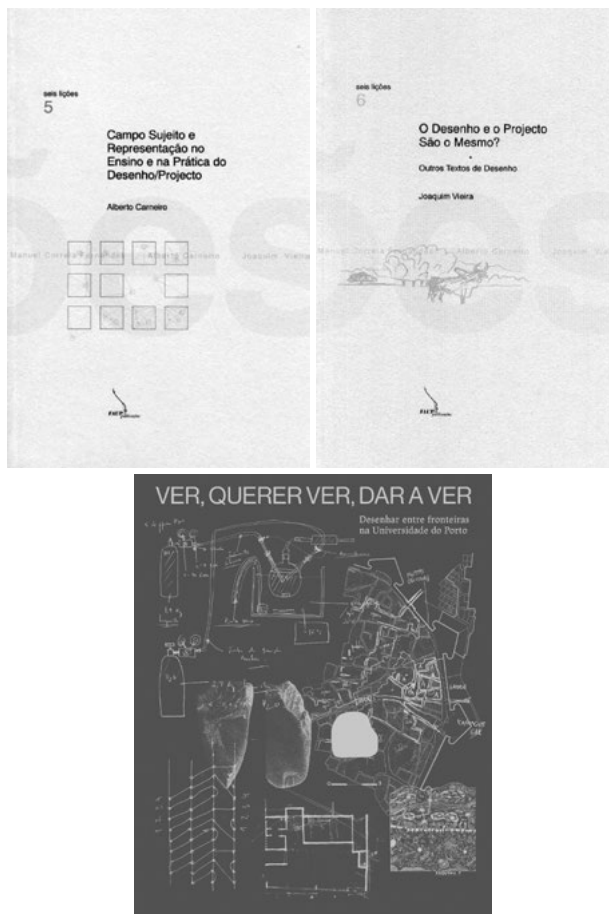


Fig. 1 – Capas dos livros de A. Carneiro, J. Vieira e catálogo da exposição, *Ver, Querer Ver, Sar a Ver, Desenhar entre Fronteiras na Universidade do Porto*.

A relação entre projecto e desenho assume, desta maneira, o sentido de uma teoria, de uma investigação própria e subjectiva, embora sem prescrições persuasivas ou axiomáticas: “aprende-se a projectar desenhando e aprende-se a desenhar projectando, para que se possa aprender a projectar projectando” – e a desenhar, desenhando. Porém, diante dos resultados e da impaciência das soluções pragmáticas, importa, como explica Philippe Boudon, no seu ensaio *Sur l'espace architectural* (2003, pp. 5-27), passar do empirismo da prática para o questionamento teórico de facto, e interrogar as condições de um tal conhecimento: ou seja, procurar distinguir entre doutrina operativa e discurso teórico, entre desenho como experiência e desenho como objecto-de-conhecimento; entre desenho-objecto e desenho-pensamento.

Pensar em termos visuais, significa pois apreender e adequar o modo como funcionam as representações e as figurações arquiteturais, e, sobretudo, experimentar a interrelação que entre si estabelecem o primado da ideia e as consequências da visualidade (Scheer, 2014, p. 3). Nesta recíproca correspondência, que corresponde a colocar um problema, perdura a livre disponibilidade do desenho, e as suas sistemáticas representações, para configurar e acolher as transformações que ocorrem da experiência projectual e construtiva. Esta interrelação, que desde sempre instituiu a separação intelectual do desenho, explica a pertinência das distinções teóricas e o *lugar de construção* do seu conhecimento.

4.

“Quem desenha coloca-se (...) no campo da própria representação,
é simultaneamente sujeito e objecto do desenho.”

A. Carneiro.

A revisão da literatura sobre o desenho permite observar contributos essenciais da sua investigação no seio da FAUP. Algumas dissertações de mestrado e teses de doutoramento têm dedicado a atenção à prática e aos usos dos desenhos, designadamente, na relação pertinente que estabelecem com o projecto de arquitectura. Estes estudos tornam claro as tentativas de uma investigação *em interioridade*, ou seja, uma investigação em que cada um pensa a partir da sua própria experiência, implicando directamente os *usos* e a *intelectualidade* que atribui ao desenho.

Em *Funções do desenho de arquitectura: argumentos para o ensino do projecto*, Joana Vieira da Silva examina o problema do desenho de projecto em arquitectura numa lógica de separação e idealização conceptual que, desde o Renascimento, determinou a actividade do desenho enquanto processo dissociado do construir (Vieira da Silva, 2021). Todavia, se o desenho induziu a “separação negativa” entre o que pertence ao projecto e aquilo que pertence à construção da obra, hoje, é no desenho, no gesto da sua livre especulação e potência expressiva que se encontra uma saída para uma renovada reintegração. É, pois, através da capacidade emancipadora do *desenho livre*, “à mão levantada”, que se pode instituir uma comunicação inclusiva entre todos os intervenientes, arquitectos, construtores e habitantes, e deste modo inaugurar outras possibilidades espaciais e construtivas, bem como uma outra concepção de comunidade.

Em *O Desenho no Ensino da Arquitectura*, Patrícia Fernandes destaca a pedagogia do desenho assente na formação instrumental e metodológica, sublinhando a importância dos processos de percepção, de expressão e de concepção, enquanto articulação necessária ao percurso de aprendizagem e formação do arquitecto. O confronto com outras práticas externas, a “viragem” tecnológica actual, bem como o inquérito e a entrevista informam e detalham o papel crítico e relevante da livre produção do desenho, bem como o seu impacto na prática projectual. De igual modo, Bruno Lourenço, em *O desenho no projecto. O projecto no desenho*, analisa o conflito existente entre a eficiência dos meios tecnológicos e as práticas tradicionais do desenho, procurando demonstrar, através do estudo de diferentes arquitectos, Le Corbusier, Aldo Rossi e Álvaro Siza, a importância do desenho, como forma de apreender a realidade e a história da arquitectura, e a afinidade com as diferentes razões e ideias de projecto. A análise fenomenológica, coincidindo com as questões conexas da sensorialidade e da cognição, sustentam a base interpretativa de Ricardo Tomé dedicada à “cumplidade” existente entre desenho e arquitectura. Através do desenho distingue-se e relaciona-se uma “estratégia de re-aproximação háptica”, fundamental para compreender não apenas “a fruição do espaço, da materialidade, e da atmosfera construída”, como também o sentido da sua operatividade conceptual (Fernandes, 2018; Lourenço, 2022; Tomé, 2014).



Fig. 2 – Capas dos livros de P. Boudon, R. di Rubertis e D. R. Scheer.

Da vasta literatura artística existente, *Il Disegno dell' Architettura*, de Roberto di Robertis e *Tracciati d' Invenzione* de Fabio Quicci permitiram colocar no âmago da interpretação teórica, muitas das ideias nucleares em torno da investigação sobre o desenho de arquitectura, antecipando o confronto com as imagens oriundas da computação e o universo da teoria da imagem (De Rubertis, 1994; Quicci, 2004). Da ampla disposição teórica inaugurada por di Rubertis, sobressai a tentativa de enquadrar o *objecto-desenho* sob o olhar de múltiplas e extrínsecas disciplinas, como a linguística, a semiologia, a hermenêutica, a psicologia da forma, a geometria, a história, assinalando, por fim, a nova disponibilidade de mudança do *fazer* do projecto operada pelo "segno elettronico" e pelo "disegno informatico". No ensaio de F. Quicci, trata-se de demonstrar como a condição heurística das imagens, ao relacionar "a dúvida ou a suspensão da incredibilidade", articula a criatividade e o pensamento do projecto. Não só a potencialidade do desenho como todas as possibilidades imagéticas concorrem para afirmarem a valência do *fazer* projetual. Da conceptualidade do desenho, da sua condição analógica resulta, portanto, a intencionalidade e a descoberta morfológica, que se sobrepõem simultaneamente enquanto planos de análise e de síntese, de invenção e comunicação (Fig. 2).

Em *The Death of drawing*, David W. Sheer veio relançar um importante contributo para pensar a complexa articulação entre os processos de desenho e o projecto de arquitectura, ao analisar a consequente abordagem crítica sobre o papel da *mediação computacional* ao alcance de todos. O ensaio trata de considerar e refletir sobre uma mudança de paradigma em curso, cujos efeitos imparáveis são reais e,

naturalmente, afectam o ensino. Esta mudança tem vindo a assinalar a *complicação* entre representações gráficas (a interdependência inequívoca e indispensável entre olho, mente e mão) e o papel da simulação visual (o domínio da pseudo-inteligência algorítmica) (Scheer, 2014, p. 222). Trata-se, pois, de compreender a “viragem” epistemológica, mas também entender como o deslocamento operado pela ilusão performativa da simulação visual afecta as práticas subjectivas e criativas do desenho. O que é que se ganha e se perde relativamente à experiência construída pela livre figuração do desenho? Diante de novas lógicas de execução e comunicação do projecto, é a arquitectura, o seu entendimento estético, ético, social e político, mas também a (*in*) *disciplina* do desenho, que está em jogo.

5.

Do universo das práticas de desenho na FAUP, seleccionamos uma breve amostra de resultados produzidos no 1º ano do curso: Desenho 1 e Projecto 1. No entanto, não se trata de concluir uma demonstração definitiva sobre a diferença e a multiplicidade dos usos do desenho na FAUP, mas antes de instaurar o recomeço de uma interpretação visual e material da sua história e pedagogia. Perante o âmbito propedêutico e inaugural das questões desenvolvidas, os desenhos que aqui se mostram tornam desde logo evidente o confronto entre duas distintas orientações e propósitos pedagógicos.

Em Desenho 1, o enquadramento teórico, o programa e respectivo faseamento, os enunciados e exercícios concorrem para o desenvolvimento de um processo de ensino que incide sobre a percepção e a observação do real (Lopes, 2021). O conjunto das propostas temáticas persegue, fundamentalmente, as questões relativas ao registo gráfico da forma, da estrutura, da proporção, da medida e da profundidade do espaço. Com tempo, aprofunda-se igualmente a expressão e as variáveis objectivas e subjectivas que constituem, por fim, a consideração da livre e autónoma potencialidade de cada desenhador. A perspectiva e a axonometria são, no essencial, os sistemas de representação utilizados. Neste processo, participa igualmente a adequação instrumental que decorre do uso de distintos *modos de desenho* (esquisso, esboço, detalhe) com os quais, entre si, complementam o exercício de distintas dinâmicas de observação e registo. O carácter disciplinar do ensino

exige, por isso, tempo, treino e ensaios continuados, sendo que os desenhos procuram assinalar, no exercício da forma e da expressão, a correcção e a justeza das observações, e, sobretudo, intensificar o desejo de ver e exprimir, enquanto conexão aberta e inconclusiva relativamente ao destino e finalidade do seu *saber fazer* e das suas imagens.

Em Projecto 1, a relação entre a complexidade de problemas colocados e o desenho acompanha todo o processo de orientação pedagógica (Ribeiro, 2021). Através da articulação de formas, medidas e escalas, e do jogo compositivo de espaços – que compreende a coexistência entre interior e exterior, entre limites e vazio, e a ambiguidade entre tridimensionalidade e bidimensionalidade, entre experiência corporal e imaginação visual –, mas também, por via da interpretação do programa, das condicionantes do sítio de intervenção, do carácter funcional e da invenção conceptual, todas as representações desenhadas participam de uma intenção expressiva e comunicativa primordial. Desde o esboço até ao desenho rigoroso, desde os esquemas e organigramas até à hipótese de forma, tudo se compreende numa montagem entre *as partes* e a *totalidade*, entre traços de procura e convenções, entre tamanhos e escalas. Todos os materiais gráficos, instrumentos e técnicas, podem ser convocados. Os desenhos articulam impulsos espontâneos e concertados, mas também tensões comensuráveis que suscitam o desconcerto das hipóteses. Assim, nas folhas de papel vegetal transitam dados e informações, lado a lado, com *ideias em fuga*; a translucidez do papel torna-se o veículo estimulante de sinais, de figurações e representações, que se reiteram e transformam, que se fixam ou alteram. Mediante este modo de actuar, na aparente informalidade da procura, permanece patente o exercício sensível e rigoroso das representações típicas do projecto em arquitectura. Plantas, cortes e alçados confinam com axonometrias e perspectivas, num desenlace continuamente integrado de formas, figuras e sinais. O que se visa em particular é a integração conjunta e simultânea da experiência gráfica e projectual: a adequação entre razão sensível e construção inteligível. O raciocínio e o conhecimento da acção projectual, ou seja, todo o processo subjectivo e formativo que perfaz a *razão prática*, geram em si mesmo uma disposição *não-conclusiva*, incompleta, feita de acaso e necessidade, aberta e disponível à imaginação gráfica e plástica do desenho. Uma vez, chegado a este ponto, talvez possamos compreender, em teoria, porque é que "o desenho é o desejo da inteligência" (Siza, 2009, p. 25).

RECONHECIMENTO

Agradecimentos muito especiais para José Maria Lopes e Rui Cardoso. Não esqueço as importantes colaborações de José Manuel Barbosa, Joaquim Teixeira e António Neves. Ao longo dos anos, muitos estudantes e docentes da FAUP, têm constituído parte fundamental da reflexão que aqui se apresenta. Para todos eles, sem excepção, vai o meu reconhecimento.

Referências

- Belting, H. (2014). *Antropologia da Imagem* (trad. A. Morão). Lisboa: KKYM.
- Boudon, P. (2003; ed. revista). *Sur l'espace architectural*. Marselha: Parenthèses.
- Carneiro, A. (1995). *Campo, Sujeito e Representação no Ensino e na Prática do Desenho/Projecto*. Porto: Faup publicações.
- Carneiro, A. (2001). *O desenho, projecto da pessoa. Os desenhos do desenho: novas perspectivas sobre o ensino artístico*. Porto: FPCE, Universidade do Porto.
- Cardoso, R. (2021). «O projecto / desenho no ensino do ofício de arquitecto», in *Ver, querer ver, dar a ver. Desenhar entre fronteiras na Universidade* (cat. exp.). Porto: U. Porto Press e i2ADS.
- Di Rubertis, R. (1994). *Il disegno dell'architettura*. Roma: La Nuova Italia Scientifica.
- Didi-Huberman, G. (2013). *Atlas ou a Gaia Ciência Inquieta* (trad R. C. Botelho e R. P. Cabral). Lisboa: KKYM.
- Fernandes, P. (2018). *O Desenho no Ensino da Arquitectura. O caso da Faculdade de Arquitectura da Universidade do Porto*, Porto: FAUP (dissertação mestrado).
- Grande, N. e C. Muro (eds.) (2019). Álvaro Siza, *In/disciplina* (cat. exp.). Porto: Serralves.
- Lopes, J. M. (2021). «Programa da U.C. Desenho 1». Acessível em: https://sigarra.up.pt/faup/pt/ucurr_geral.ficha_uc_view?pv_ocorrenca_id=497904
- Lourenço, B. (2022). *O desenho no projeto. O projeto no desenho*, FAUP (dissertação mestrado).
- Pallasmaa, J. (2009). *The Thinking Hand*. Chichester: J. Wiley & Sons.
- Quicci, F. (2004). *Tracciati d'invenzione*. Turim: UTET.
- Ribeiro, H. C. (2021). «Programa da U.C. Projecto 1». Acessível em: https://sigarra.up.pt/faup/pt/ucurr_geral.ficha_uc_view?pv_ocorrenca_id=471721
- Silva, V. (2011). *Desenho e Imagem. O Ensino do Desenho na FAUP*. <https://desenho2faup.blogspot.com/p/desenho-e-imagemo-ensino-do-desenho-na.html>
- Silva, V. (2012). *A linha é interior à linha. Sobre alguns desenhos de Álvaro Siza* (texto original de 2012, não publicado).
- Silva, V. (2021). «As práticas de desenho na FAUP. Uma amostra, um confronto, algumas notas». In *Ver, querer ver, dar a ver, op. cit.*
- Scheer, D. R. (2014). *The death of Drawing*. Nova Iorque: Routledge.
- Siza, A. (2009). «Construir» (1982). In *01 Textos*. Porto: Civilização.
- Siza, A. (2000). *Imaginar a evidência*. Lisboa: Edições 70.
- Tomé, R. (2014). *Traçar a Percepção. Um estudo sobre o Desenho, a Arquitectura e a Experiência sensorial*, FAUP (dissertação mestrado).
- Vieira, J. (1995). *Projecto e desenho, são o mesmo?* Porto: FAUP publicações.
- Vieira, J. (2009). «Os modos do desenho». Acessível em: <http://pintovieiraensino-desenho.blogspot.com/p/programas-da-disciplina.html>
- Vieira da Silva, J. (2021). *Funções do desenho de arquitetura: argumentos para o ensino do projeto*, tese de doutoramento, Universidade Federal de Minas Gerais.

*Drawing practices in the Faculty
of Architecture of the University of Porto:
method, research, theory*

Vítor Silva

In memoriam, Alberto Carneiro, 1937-2017

“Sketching and drawing are spatial and haptic exercises that fuse the external reality of space and matter and the internal reality of perception.”

Juhani Pallasmaa

“The eye guides the hand, but the hand has, as it were, a mind of its own.”

David Ross Scheer

“Discipline: as little as possible.”

Álvaro Siza

1.

In recent decades, in the context of pedagogy and teaching, the Faculty of Architecture of the University of Porto (FAUP) has been debating its own drawing research field. As a consequence of the exceptional condition of its history, drawing persists as a fundamental purpose, whose objective intersects multiple and simultaneous practical and theoretical interrelationships regarding the role of images and imagination in relation to the bodily and subjective experience of spaces and architecture (Carneiro, 1995; Silva, 2021).

As a privileged medium for visual thinking, drawing activates the possibilities of seeing and showing, as well as the potential to depict and represent that which, not yet existing because it's still invisible, might come to be as form, expression, and spatiality. Drawing practices are thus intensified by the demands of architecture's design and conceptual exercises, guiding a multiplicity of graphic modes and procedures, from simple sketching to rigorous drawings. Thus, drawings fulfil a *separate mediation* between the role of the imagination and the built reality but also constitute the sensitive and intellectual learning through which the process of their mutual integration is articulated. This is where the perception and production of architecture take place, alongside the free and divergent usages of its expressive potentiality.

Within the training structure that constitutes FAUP's degree program and its respective study plan, proposals for new courses have emerged with the aim of combining the dimensions of its practical and critical reflections, considering the broader domain of the visual culture of the project and architectural conception.

Drawing at FAUP has incorporated this operative, pragmatic, also artistic and expressive dimension, with significant impact and relevance in confronting the central issues of project teaching. Its omnipresence is evident in various fields of study, such as theory, history and, of course, construction. Today, we are witnessing a broad problematization of its formative and pedagogical core, given its culture and history, especially through the existence of a significant body of work, reflections, research and master dissertations.

The nature and complexity of these studies tend to observe and analyse the fundamental inter-dependency between drawing and project and to defy its centrality, in the sense of understanding the epistemological distinctions, the method and needs that are intrinsically associated, substantially constituting the crucial content of the pedagogy, its doctrine and theory.

However, it is important to consider that the original and experimental meaning of drawing, regarding the basis of its learning and instrumental, technical and expressive appropriateness, stems parallelly from an autonomous pedagogy independent of the problems of project ideation (Lopes, 2021, *passim*). This teaching allows us to consider, in tandem, a theoretical-practical field of exercises focused on the observation of the real – objects, spaces and human figure. By promoting the diversity of “graphical modes” – sketch, draft, detail

(Vieira, 2009, pp. 35-38) – it addresses the representation of form, the grasping of measures and proportions, perspective, chiaroscuro and colours, aiming to develop “freehand” drawing and, as a whole, establishing itself as an autonomous, free and expressive practice.

In this comprehensive view, the unveiling of empirical aspects and heuristic procedures, characteristic of this diversity of contexts and disciplinary approaches, tends to be articulated today with the suspicion of a “crisis” shaped by the triumphant entrance of digital technologies, by the existence of computational programmes – CAD and BIM, etc. –, by the use of iPads and other available means, which manifestly have tested the intrinsic validity of the graphic and artistic experiences conferred by drawing practices. From these challenges, the debate around representations and their uses is re-launched, driven by the technological vertigo of images and the self-sufficiency of computer simulation (Scheer, 2014, p. 6). Adding to this generic condition, which permeates multiple aspects of life and contemporaneity, is another underlying, more archaic and primitive condition originating from the *raison d'être* of *making* and graphic *imagination*. This stems, on the one hand, from history and visual culture – aesthetic, ethical and political – and, on the other hand, from an anthropological perspective centred on the pulsing of visual *symptoms* through which the *survival* and *the afterlife* of images manifest.¹

With the naturalized practice of the already eternal technological “new media” of representation, “modelling”, and visual simulation, it is up to the traditional and prosaic drawing practices to discuss the artifices and the dissension that they incentivise and mobilise, not only in a cultural and historical sense but above all as the phenomenological and epistemological repository of a *non-conclusive* experience of the images focusing on the vast visual (and graphic) production of architecture.

Echoing the purposes of scientific research and based on self-critical reflection, in particular, on drawings and projects, research and personal interpretations of the formative paths of students and researchers, studies carried out at FAUP allow for the observa-

1 “It is about influences that enter the subconscious and that enter the project without us realizing it (...) Learning to see is fundamental to an architect, there is a baggage of knowledge which we inevitably go to, so that nothing we do is absolutely new” (Siza, 2000, p. 139). On these notions: H. Belting (2014) and G. Didi-Huberman (2013).

tion of a hypothesis proposing a comprehensive view of what was, has been and shall strive to remain the means, motives and reasons of intellectual training.

These studies necessarily include the countless incursions, citations, and unavoidable references to the work of Álvaro Siza and, in particular, those related to his fruitful and meaningful drawing activities. However, there is still a need to distinguish, amid the empirical consideration of practices that dominate the doctrinal discourses on drawing, what the *experience of knowledge* is, intrinsic to theoretical discourse, that genuinely questions the “uses” of drawing in architecture (Boudon 2003, p. 5-12).

2.

Over the latter half of the 20th century, Álvaro Siza’s architecture, with its growing international impact, combined with the dissemination of his fluid and exuberant graphic activities, has become a landmark and a fundamental matrix to acknowledge a method and its circumstances, whose eventual model and relevant critical contributions allow us to understand the craft and laboratory conditions of his working and thinking processes. Furthermore, in the realm of interventions and construction, it served as a reference for the field of teaching.²

The force and coherence of A. Siza’s graphic processes and, especially, the singularity of his drawings, not necessarily his working drawings, as free and fanciful configurations, thus acquire a surprising novelty. The fluent, almost stenographic nature of the sketch,³ in the imperative manner of the gesture and the apparent improvisation that characterize these drawings, rhythmizes the observed spaces, the imagined figures, the “undisciplined” combinations, as well as the everyday records prompted by immediate and urgent perception, by the life of scattered notes, always inferred by the pulsating movement of the

2 The SAAL project was that laboratory that led to a particular intervention methodology.

3 “There is no big difference between the process of writing and the one of drawing in such a way that I am definitely unable to say how I draw an object or architecture itself”, Siza (2000, p. 17). “The relationship between the sketch, the digital work and the maquette at the beginning of a project” was the theme of A. Siza’s open class at FAUP in 22-02-1017.

pen, by the back and forth of problems and overlays, solutions, corrections, and deviations. In this process, where the visual and haptic power is patent, the desire and the dissatisfaction permeate the flow of visual records that the draughtsman continuously remakes, redraws and corrects countless times. Opening his notebooks, one finds intimate notes, friends' portraits, landscapes, angels, animals, postures, and movements; incursions from remote times, recollections and instantaneous fulgurations. In those *intermezzi*, amid the evocations of a place or of an ongoing project, the figurations really stimulate a divergent field, a need for evasion, but also relaxation, the intuitive and spontaneous "reason" that, at the same time, allows for reorienting the unavoidable demand for concentration on the project's "reason".

Today, the bibliography dedicated to the work of A. Siza makes up a powerful torrent of publications, of studies and, above all, of images. Beyond the communicational and rhetorical logic of his projects, through photography and rigorous technical representations, the countless writings and interviews, the multiple essays and articles, doctrinal or theoretical in nature, a very singular universe of drawing is expressed, revealing the organic and plastic strength of the line, a *line without beginning and end: a middle line*, inside the line itself. In fact, the intensity of the line elects the *middle* as process and material, as an instinct of form and function: it is an original line, intimate and primitive, at the same time abstract and figurative, but whose production of visuality, in fact, establishes the simultaneous irruption of affection, gesture and space.

In the subtle and exuberant graphic exemplarity of A. Siza, it is a matter of understanding the restlessness of this line that does not delineate but instead traverses the forms, intensifying their forces and tensions. In its dynamic and emotive condition, it's a line that translates the evidence of its superlative "reason." As a distinctive feature between proportion, measure, and scale, A. Siza's sketches configure the paradoxical (in)visible and (un)limited existence of what they touch and apprehend. With this figural readiness, A. Siza's drawing combines the diversity of multiple and heterogeneous possibilities, contaminating the nature of schemes, sketches, and other representation systems, polarizing and animating abstraction and the inorganic.

Although the nature of the communication of A. Siza's projects inevitably includes the canonical, conventional and unavoidable condition of rigorous graphic representations, which currently benefit

from the technical efficiency of computing, by amplifying the informative character of the constructive details and also their imperious and dominant presence, one can still understand how the moving traces of the ballpoint pen manifest the latent corporality and remembrance that underlie the figurative thinking of architecture.

3.

“Drawing represents something more than a simple external operative tool (...) instead presenting itself as a kind of mental prosthesis that enables the effectiveness of thought.”

R. di Rubertis

If the *modern tradition* of A. Siza’s drawing, on the one hand, stimulated and resurfaces insistently as a singular “model” of a project and creative practice, on the other hand, the free and spontaneous adoption of drawing, with its different figurative and artistic purposes, stems from a long-shared residence at the School of Fine Arts in Porto. The proximity to the culture of *fine arts* was especially decisive for the *arts of drawing* at a key moment of openness and historical transition in the school, promoted by the architect Carlos Ramos.

During the years of dictatorship, many of the artistic and social transformations that were happening and coming from outside allowed to embrace a diversity of experiences and *modern* aesthetic currents, which, after the revolution of the 25th of April 1974, emerged as a consequence of the bold contrasting dissensions, not only episodic and aesthetic but also evidently political. This was patent in the non-compliant utopian and provocative proposals, deliberately conscious of a “*refusal of drawing*”. Indeed, in architecture teaching, it would later be noted with some humour that the “practice of revolution” had led to the renewed “*emergence of drawing*” (Bandeira, P. and N. Faria, *apud* Silva, 2021, p. 141).

The painter Joaquim Vieira and the sculptor Alberto Carneiro (Carneiro, 1995; Vieira, 1995; Silva, 2011, s/p e 2021, p. 141)⁴, corresponding to the original idea of architect Fernando Távora, were the

4 Reference should also be made to the relevant pedagogical role of the painter António Quadros (1933-1994), in the period between 1985 and 1994.

protagonists in this historical sequence in which two different conceptions on the function of drawing and its pedagogical pertinence were combined. The importance attributed to observational drawing – *drawing from life* – and to the sense of phenomenological experience that implies *existing for and in the drawing* were combined, in face of the complexity of the problems of the project's conception/imagination, with the gestures and intentions of a *drawing that wishes to exist* and in which the subjectivity and thinking of the draughtsperson are self-constituted. This double articulation between the domain of the observable – the representation and expression of the exterior world – and the free figuration of the thinkable as project hypothesis shaped a contrasting but productive idea of drawing, showing precisely two different fields of action and pedagogical experimentation. The theoretical and practical premises developed at the time allowed for the discrimination and articulation of a mutual and necessary interrelation, whose foundational division is structured into complementary objectives, dynamics, and didactics. However, the fundamental distinction primarily arises from the interplay between *perception* and the *space of conception*, especially from the understanding that involves the complexity of the measurements, proportions, and scale(s) within different and pertinent study environments.

In the disciplinary field of project teaching, there is not an exact indistinction between drawing and project, but rather “two consubstantial plans of plastic action”, where the project's necessity prompts graphic necessity and vice-versa (Cardoso, 2021, p. 126). Thus, if during the course of visual experience, *perceptual drawing* stimulates the apprehension of the *sensitive measurement*, that is, a way of feeling and inferring forms and spaces, in the *space of conception*, drawing, in its various modes of action, enacts the probability and the idea, namely, the sensitive *abduction* of measurements and scales to which hypothesis of form and configuration of spaces refer. As in the restrictive and disciplinary field of drawing, whose incidences reveal perceptive and cognitive functions, the holistic and open field of the *drawing-project*, when considering the scope of the method as a plane of self-reflection, clearly renders the field of intuition and heuristics – of *indiscipline* –, which, through the variety and graphic (in)discrimination, constitutes the attentive modes of searching and uncertainty, “trial and error”, of testing and doubt, of necessity and chance, of reiterated hypothesis and incessant transformation (Cardoso, 2021, p. 125). Thus, in under-

standing the procedures that constitute the *space of conception*, “each drawn impulse opens and closes doors in the labyrinth of envisioned possibilities (...) [and] establishes the method of approaching the materialisation of ideas” (Cardoso, *idem*) (Fig.1).

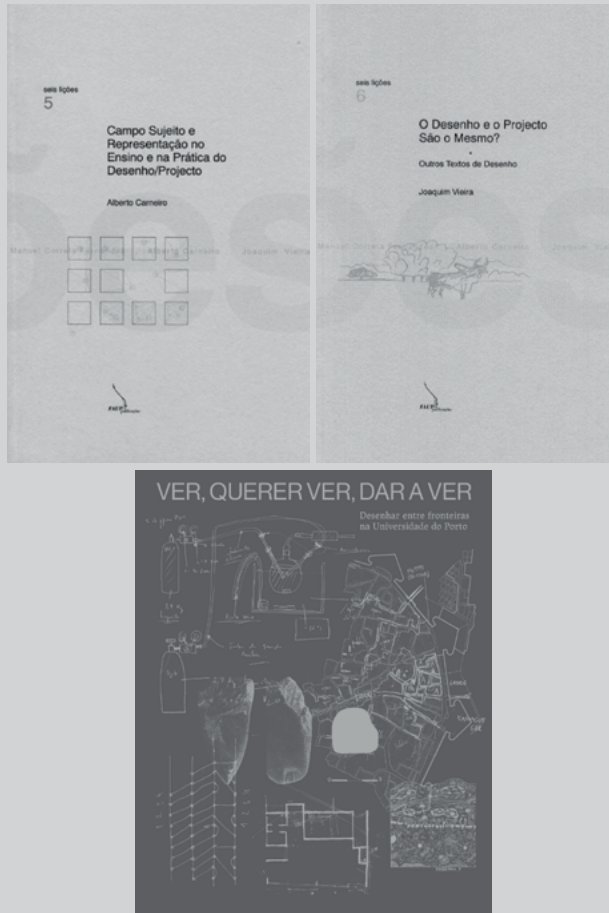


Fig. 1 – Covers of books by A. Carneiro, J. Vieira and exhibition catalogue *Seeing, Wanting to See, Allowing to See, Drawing Between Borders in the University of Porto*.

The relationship between project and drawing assumes, in this way, the sense of a theory, of specific and subjective research, although without persuasive or axiomatic prescriptions: “One learns to project by drawing and learns to draw by projecting so that one can learn to project by projecting” – and to draw by drawing. However, given the results and the impatience of pragmatic solutions, it is important,

as argued by Philippe Boudon in his essay *Sur l'espace architectural* (2003, p. 5-27), to move from the empiricism of practice to actual theoretical questioning and to interrogate the conditions of such knowledge. In other words, to seek to distinguish between operational doctrine and theoretical discourse, between drawing as experience and drawing as an object of knowledge; between drawing-object and drawing-thought.

To think in visual terms, therefore, means to grasp and adapt the way architectural representations and figurations function and, most importantly, to experience the interrelation established between the primacy of the idea and the consequences of visibility (Scheer, 2014, p. 3). In this reciprocal correspondence, akin to posing a problem, the free availability of drawing persists, along with its systematic representations, to shape and accommodate the transformations that occur in the project and construction experience. This interrelation, which has always established the intellectual separation of drawing, explains the relevance of theoretical distinctions and the construction of its knowledge.

4.

“Those who draw position themselves (...) in the field of their own representation, being simultaneously the subject and the object of drawing.”

A. Carneiro.

A literature review on drawing allows for observing essential contributions from its research within FAUP. Some master's dissertations and doctoral theses have focused on the practice and uses of drawings, particularly in the relevant relationship they establish with the architectural project. These studies clarify that there are attempts at an inward-focused investigation, meaning research in which each person thinks from their own experience, directly implicating the uses and intellectual significance of drawing.

In *'Functions of architectural drawing: arguments for teaching of the project'*, Joana Vieira da Silva examines the issue of project drawing in architecture within a logic of separation and conceptual idealization that, since the Renaissance, has determined the activity of draw-

ing as a process dissociated from construction (Vieira da Silva, 2021). However, if drawing has induced a ‘negative separation’ between what belongs to the project and what belongs to the construction of the work, today, it is in the gesture of drawing’s free speculation and expressive power that a path to a renewed reintegration is found. Therefore, through the emancipatory capacity of freehand drawing, inclusive communication can be established among all participants — architects, builders, and inhabitants - and thus inaugurate other spatial and constructive possibilities, as well as a different conception of community.

In *‘Drawing in the Teaching of Architecture,’* Patrícia Fernandes emphasises the drawing pedagogy based on instrumental and methodological training, highlighting the importance of perception, expression, and conception processes as a necessary articulation in the architect’s learning and training journey. The confrontation with external practices, the current ‘technological turn,’ as well as inquiry and interviews, inform and detail the critical and relevant role of drawing’s free production, as well as its impact on project practice. Similarly, in *‘Drawing in the Project. The Project in Drawing,’* Bruno Lourenço analyses the existing conflict between the efficiency of technological means and traditional drawing practices, seeking to demonstrate, through the study of different architects such as Le Corbusier, Aldo Rossi, and Álvaro Siza, the importance of drawing as a way to apprehend the reality and history of architecture and its affinity with different project rationales and ideas. Phenomenological analysis, coinciding with related issues of sensoriality and cognition, supports the interpretative framework of Ricardo Tomé focused on the ‘complicity’ existing between drawing and architecture. Through drawing, a ‘strategy of haptic re-approach’ is distinguished and reviewed, fundamental to understanding not only ‘the enjoyment of space, materiality, and the built atmosphere’ but also the sense of its conceptual operability (Fernandes, 2018; Lourenço, 2022; Tomé, 2014).



Fig. 2 – Covers of the books by P. Boudon, R. di Rubertis, and D. R. Scheer.

From the vast existing artistic literature, Roberto di Robertis's *'Il Disegno dell' Architettura'* and Fabio Quicci's *'Tracciati d' Invenzione'* have allowed the core of theoretical interpretation to encompass many of the fundamental ideas surrounding the investigation of architectural drawing, anticipating the encounter with images from computing and the universe of image theory (De Rubertis, 1994; Quicci, 2004). From the extensive theoretical framework initiated by di Rubertis, the attempt to frame the *drawing-object* under the gaze of multiple and extrinsic disciplines, such as linguistics, semiotics, hermeneutics, psychology of form, geometry, and history, stands out. In the end, this marks the new readiness for a change in the practice of the project operated by the *"segno elettronico"* and *"disegno informatico."* In F. Quicci's essay, the aim is to demonstrate how the heuristic condition of images, by relating 'doubt or suspension of incredibility,' articulates creativity and project thinking. Not only the potential of drawing but all imaginable possibilities contribute to affirming the value of project-making. From the conceptuality of drawing, from its analogical condition arises, therefore, the intentionality and morphological discovery, which simultaneously overlap as planes of analysis and synthesis, invention, and communication (Fig. 2).

In *'The Death of Drawing,'* David W. Scheer provides a significant contribution to contemplating the complex interplay between drawing processes and architectural project, analysing the consequential critical approach to the role of computational mediation accessible to all. The essay aims to consider and reflect on an ongoing paradigm shift whose unstoppable effects are real and naturally impact educa-

tion. This shift has been signalling the complication between graphic representations (the unequivocal and indispensable interdependence between eye, mind, and hand) and the role of visual simulation (the realm of pseudo-algorithmic intelligence) (Scheer, 2014, p. 222). It is, therefore, about understanding the epistemological ‘turn’ and how the shift operated by the performative illusion of visual simulation affects the subjective and creative practices of drawing. What is gained and lost concerning the experience built by drawing’s free figuration? Faced with new frameworks of project execution and communication, the aesthetic, ethical, social, and political understanding of architecture is at stake, as well as the (in)discipline of drawing.

5.

From the universe of drawing practices at FAUP, we selected a sample of results produced in the program’s first year: Drawing 1 and Project 1. However, this does not set out to provide any definitive demonstration of the difference and the multiplicity of the usages of drawing at FAUP. Instead, it aims to restart a visual and material interpretation of its history and pedagogy. Faced with the propaedeutic and inaugural scope of the questions developed, the drawings presented here immediately highlight the confrontation between two distinct pedagogical orientations and purposes.

In Drawing 1, the theoretical framework, the curriculum and its phasing, the explanations and the exercises converge to develop a teaching process focused on the perception and observation of reality (Lopes, 2021). The set of thematic proposals primarily addresses issues related to the graphic recording of form, structure, proportion, measurement, and depth of space. Over time, the expression and objective and subjective variables that ultimately frame each draftsman’s free and autonomous potential are also deepened. Perspective and axonometry are essentially the representation systems used. This process also includes the instrumental adjustment resulting from using different drawing modes (sketch, draft, detail), complementing each other in the exercise of different dynamics of observation and recording. The disciplinary nature of teaching, therefore, requires time, training, and continuous experimentation, with the drawings seeking to signal, in the exercise of form and expression, the correctness and

accuracy of observations and, above all, intensify the desire to see and express, as an open and inconclusive connection to the destiny and purpose of their *know-how* and images.

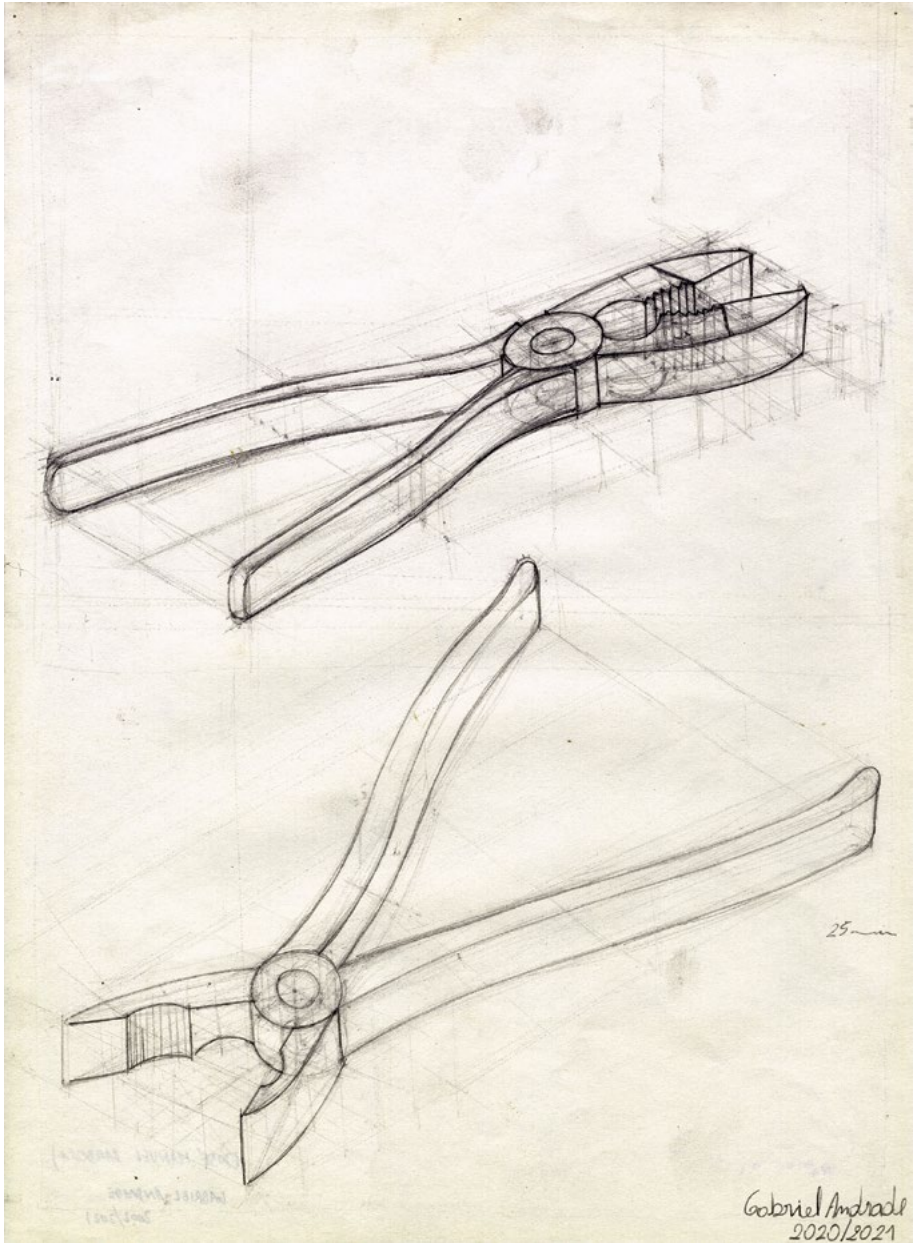
In Project 1, the relationship between the complexity of posed problems and drawing accompanies the entire process of pedagogical supervision (Ribeiro, 2021). Through the articulation of forms, measurements, and scales, and the compositional play of spaces – which includes the coexistence between interior and exterior, between boundaries and emptiness, and the ambiguity between three-dimensionality and two-dimensionality, between bodily experience and visual imagination – but also through the interpretation of the syllabus, the constraints of the intervention site, functional character and conceptual invention, all drawn representations participate in a primary expressive and communicative intention. From sketch to rigorous drawing, from diagrams and organisational charts to the hypothesis of form, everything is understood in an assembly between parts and the whole, between traces of exploration and conventions, between sizes and scales. All graphic materials, tools, and techniques can be summoned. The drawings articulate spontaneous and concerted impulses but also commensurable tensions that provoke the disconcerting hypotheses. Thus, data and information move in tandem with fleeting ideas on tracing paper; the paper becomes the stimulating vehicle for signals, figurations, and representations that iterate and transform, that anchor or change. Through this performing mode, the sensitive and rigorous exercise of representations typical of architectural projects remains visible in the apparent informality of searching. Plans, sections, and elevations coexist with axonometries and perspectives in a continually integrated unfolding of forms, figures, and signs. The aim is particularly the joint and simultaneous integration of graphic and project experience: the adequacy between sensible reason and intelligible construction. The reasoning and knowledge of the project's action, i.e., the subjective and formative process that constitutes practical reason, generate a disposition that is non-conclusive, incomplete, made of chance and necessity, open and available to the graphic and plastic imagination of drawing. Once we arrive at this point, perhaps we can understand, in theory, why 'drawing is the desire of intelligence' (Siza, 2009, p. 25).

ACKNOWLEDGMENT

Special thanks to José Maria Lopes and Rui Cardoso. I do not forget the important collaborations of José Manuel Barbosa, Joaquim Teixeira, and António Neves. Over the years, many students and faculty members from FAUP have been an essential part of the reflection presented here. To all of them, without exception, goes my acknowledgement.

References

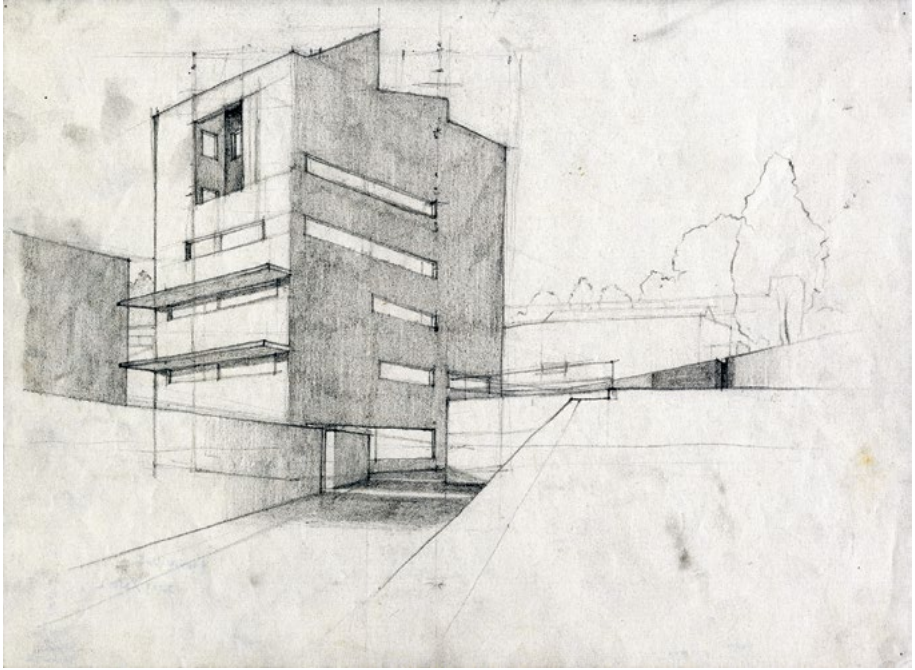
- Belting, H. (2014). *Antropologia da Imagem* (trad. A. Morão). Lisboa: KKYM.
- Boudon, P. (2003; ed. revista). *Sur l'espace architectural*. Marselha: Parenthèses.
- Carneiro, A. (1995). *Campo, Sujeito e Representação no Ensino e na Prática do Desenho/Projecto*. Porto: Faup publicações.
- Carneiro, A. (2001). *O desenho, projecto da pessoa. Os desenhos do desenho: novas perspectivas sobre o ensino artístico*. Porto: FPCE, Universidade do Porto.
- Cardoso, R. (2021). «O projecto / desenho no ensino do ofício de arquitecto», in *Ver, querer ver, dar a ver. Desenhar entre fronteiras na Universidade* (cat. exp.). Porto: U. Porto Press e i2ADS.
- Di Rubertis, R. (1994). *Il disegno dell'architettura*. Roma: La Nuova Italia Scientifica.
- Didi-Huberman, G. (2013). *Atlas ou a Gaia Ciência Inquieta* (trad R. C. Botelho e R. P. Cabral). Lisboa: KKYM.
- Fernandes, P. (2018). *O Desenho no Ensino da Arquitectura. O caso da Faculdade de Arquitectura da Universidade do Porto*, Porto: FAUP (master's dissertation).
- Grande, N. e C. Muro (eds.) (2019). Álvaro Siza, *In/disciplina* (cat. exp.). Porto: Serralves.
- Lopes, J. M. (2021). «Programa da U.C. Desenho 1». Accessible at: https://sigarra.up.pt/faup/pt/ucurr_geral.ficha_uc_view?pv_ocorrenca_id=497904
- Lourenço, B. (2022). *O desenho no projeto. O projeto no desenho*, FAUP (master's dissertation).
- Pallasmaa, J. (2009). *The Thinking Hand*. Chichester: J. Wiley & Sons.
- Quicci, F. (2004). *Tracciati d'invenzione*. Turim: UTET.
- Ribeiro, H. C. (2021). «Programa da U.C. Projecto 1». Accessible at: https://sigarra.up.pt/faup/pt/ucurr_geral.ficha_uc_view?pv_ocorrenca_id=471721
- Silva, V. (2011). *Desenho e Imagem. O Ensino do Desenho na FAUP*. Accessible at: <https://desenho2faup.blogspot.com/p/desenho-e-imagemo-ensino-do-desenho-na.html>
- Silva, V. (2012). *A linha é interior à linha. Sobre alguns desenhos de Álvaro Siza* (original text from 2012, unpublished).
- Silva, V. (2021). «As práticas de desenho na FAUP. Uma amostra, um confronto, algumas notas». In *Ver, querer ver, dar a ver, op. cit.*
- Scheer, D. R. (2014). *The death of Drawing*. Nova Iorque: Routledge.
- Siza, A. (2009). «Construir» (1982). In *01 Textos*. Porto: Civilização.
- Siza, A. (2000). *Imaginar a evidência*. Lisboa: Edições 70.
- Tomé, R. (2014). *Traçar a Percepção. Um estudo sobre o Desenho, a Arquitectura e a Experiência sensorial*, FAUP (master's dissertation).
- Vieira, J. (1995). *Projecto e desenho, são o mesmo?* Porto: FAUP publicações.
- Vieira, J. (2009). «Os modos do desenho». Accessible at: <http://pintovieiraensino-desenho.blogspot.com/p/programas-da-disciplina.html>
- Vieira da Silva, J. (2021). *Funções do desenho de arquitetura: argumentos para o ensino do projeto*, tese de doutoramento, Universidade Federal de Minas Gerais.



- 1 *Desenho 1. Desenho linear; estrutura de objecto*
/ Linear drawing; Structure of an object (Exercício / Exercise 25)
Gabriel Andrade, 2021
Grafite sobre papel / Graphite on paper, 40,5 x 29,7 cm
Mestrado Integrado em Arquitectura
/ Integrated Master in Architecture, FAUP



- 2 *Desenho 1. Desenho linear. Objecto*
/ Linear drawing. Object (Exercício / Exercise 45°)
Beatriz Nunes, 2021
Grafite sobre papel / Graphite on paper, 29,7 x 21 cm
Mestrado Integrado em Arquitectura
/ Integrated Master in Architecture, FAUP



- 3 *Desenho 1. Desenho claro escuro de espaço*
/ Space chiaroscuro drawing (exercício / exercise 45')
Bruno Zão, 2002
Grafite sobre papel / Graphite on paper, 29,6 x 40,2 cm
Mestrado Integrado em Arquitectura
/ Integrated Master in Architecture, FAUP



4 *Desenho 1. Desenho de frutas e vegetais*
/ Drawing of fruits and vegetable
João Costa, , s.d.

Lápis de Cor sobre papel / Colour pencil on paper, 29,7 x 42 cm
Mestrado Integrado em Arquitectura
/ Integrated Master in Architecture, FAUP



5

Desenho 1. Desenho claro escuro de espaço
/ Space chiaroscuro drawing (exercício / exercise 45')

Bruno Zão, 2002

Marcador sobre papel / Marker on paper, 29,7 x 40,2 cm

Mestrado Integrado em Arquitectura

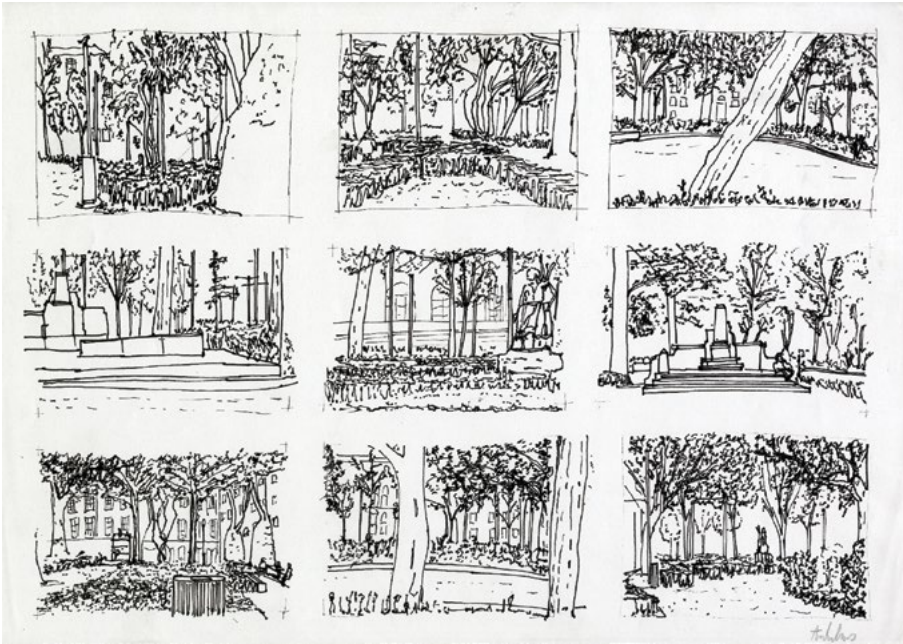
/ Integrated Master in Architecture, FAUP



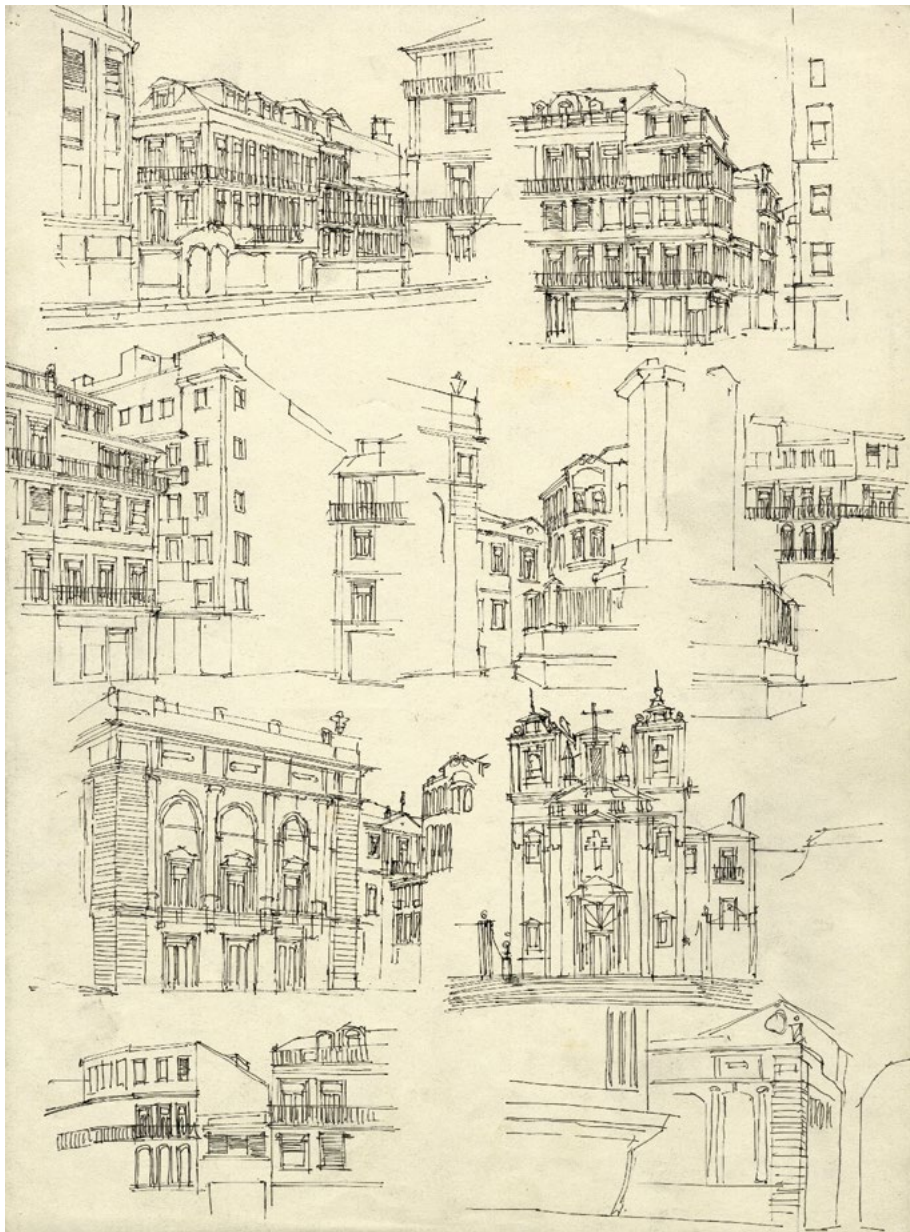
- 6 *Desenho 1. Árvores no jardim / Trees in the garden*
Ana Cavaco, s.d.
Marcador sobre papel / Marker on paper, 14,8 x 21 cm
Mestrado Integrado em Arquitectura / Integrated Master in Architecture, FAUP



- 7 *Desenho 1. Árvores no jardim / Trees in the garden*
Ana Aragão, s.d.
Lápis branco sobre papel cinzento / White pencil on grey paper, 29,7 x 42 cm
Mestrado Integrado em Arquitectura / Integrated Master in Architecture, FAUP



- 8 *Desenho 1. Árvores no jardim / Trees in the garden*
André Lemos, s.d.
Marcador sobre papel cinzento / Marker on grey paper, 29,7 x 42 cm
Mestrado Integrado em Arquitectura / Integrated Master in Architecture, FAUP

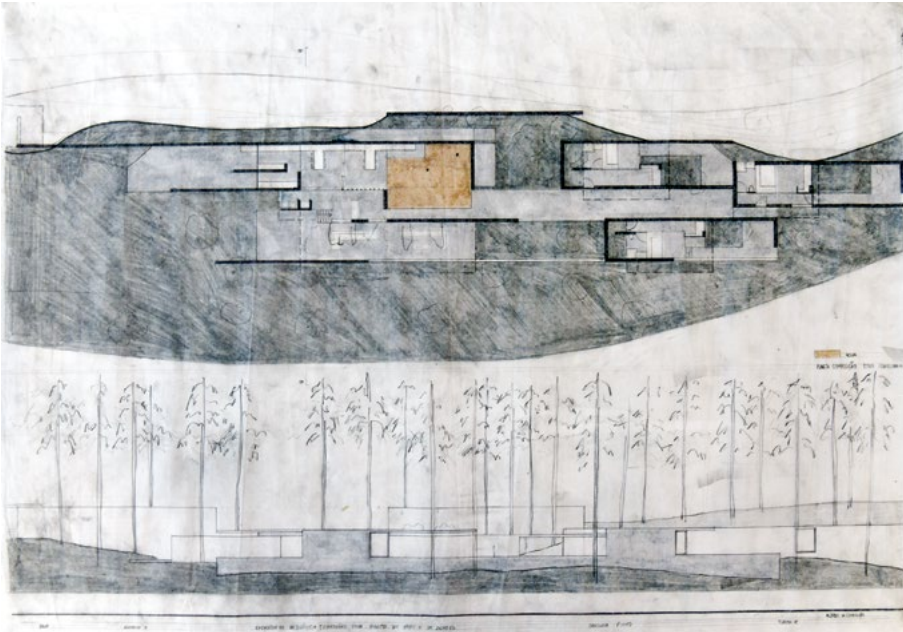


9

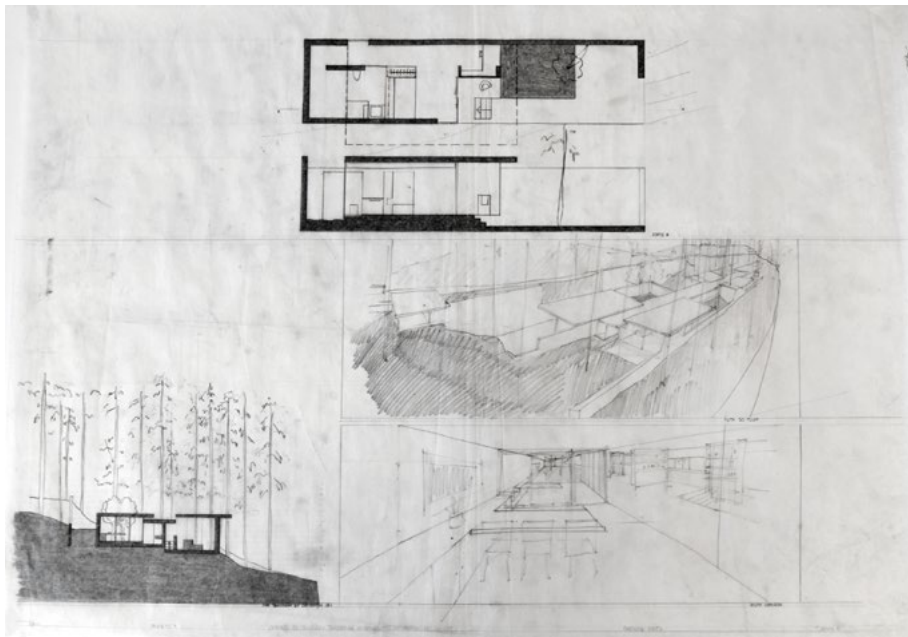
Desenho 1. Esquissos da cidade / City sketches, s.d.

Caneta de ponta fina sobre papel / Fine tip pen on paper, 40,1 x 29,7 cm

Mestrado Integrado em Arquitectura / Integrated Master in Architecture, FAUP



- 10 *Projecto 1. 3º Exercício: Habitação Temporária. Estudos de concepção da Composição. Desenhos de verificação e síntese: planta e perfil alçado.*
 / *Project 1. 3rd Exercise: Temporary Housing. Composition design studies. Verification and synthesis drawings: floor plan and elevation profile.*
 Carolina Pinto, 2016-17
 Grafite e marcador sobre papel vegetal
 / Graphite and marker on tracing paper, 59,4 x 84,1 cm
 Mestrado Integrado em Arquitectura
 / Integrated Master in Architecture, FAUP



- 11 *Projecto 1. 3º Exercício: Habitação Temporária. Estudos de concepção da Composição. Desenhos de verificação e síntese da célula de dormir: planta, perfis e perspectivas / Project 1. 3rd Exercise: Temporary Housing. Design studies of Composition. Sleeping cell, verification and synthesis drawings: plan, profiles and perspectives.*

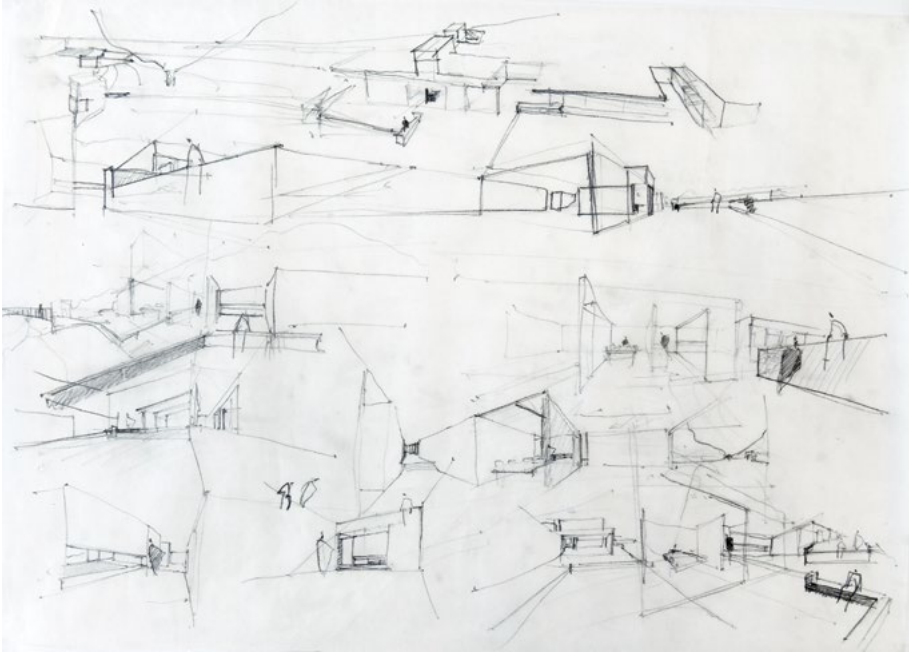
Carolina Pinto, 2016-17

Grafite e marcador sobre papel vegetal

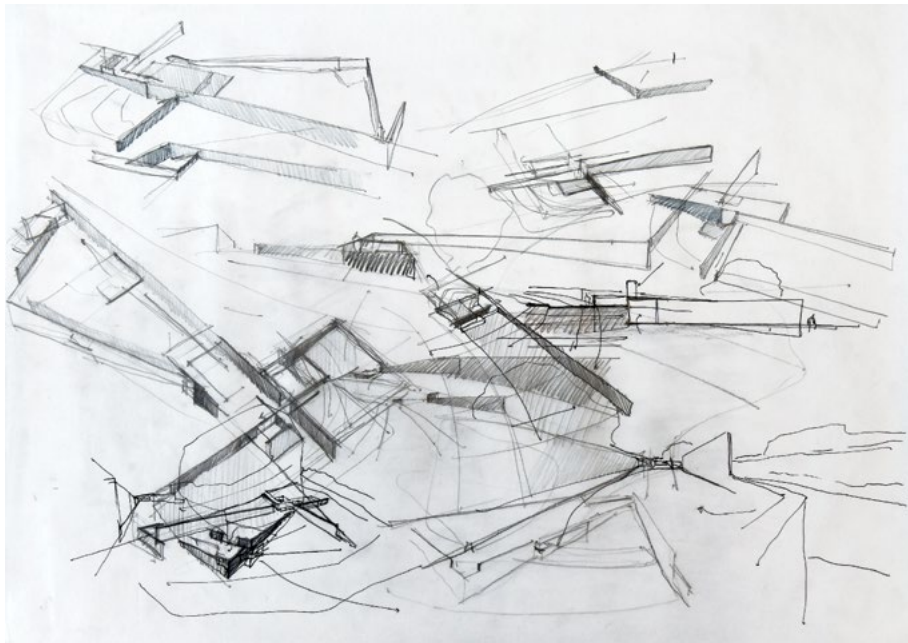
/ Graphite and marker on tracing paper, 59,4 x 84,1 cm

Mestrado Integrado em Arquitectura

/ Integrated Master in Architecture, FAUP



- 12 *Projecto 1. 3º Exercício: Habitação Temporária. Esquissos de concepção da Composição: perspectivas interiores, perspectivas exteriores*
/ Project 1. 3rd Exercise: Temporary Housing. Design sketches of the Composition: perspectives from the interior and exterior.
Bernardo Machado, 2020-21
Grafite sobre papel vegetal / Graphite on tracing paper, 42 x 59,4 cm
Mestrado Integrado em Arquitectura / Integrated Master in Architecture, FAUP

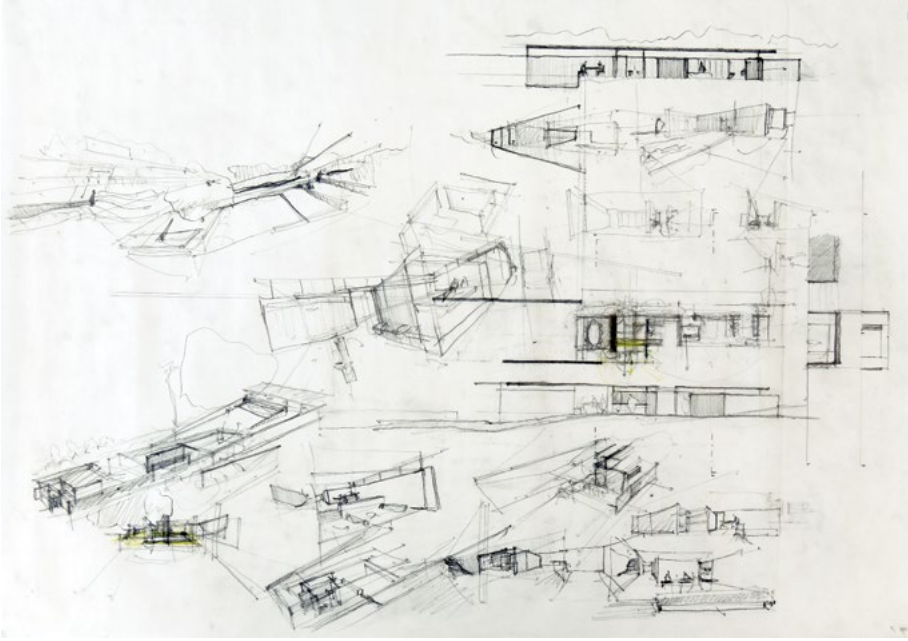


- 13 *Projecto 1_3º Exercício: Habitação Temporária. Esquissos de concepção da Composição: perspectivas interiores, perspectivas exteriores, esquemas / Project 1. 3rd Exercise: Temporary Housing. Design sketches of the Composition: perspectives from the interior and exterior, schemes.*

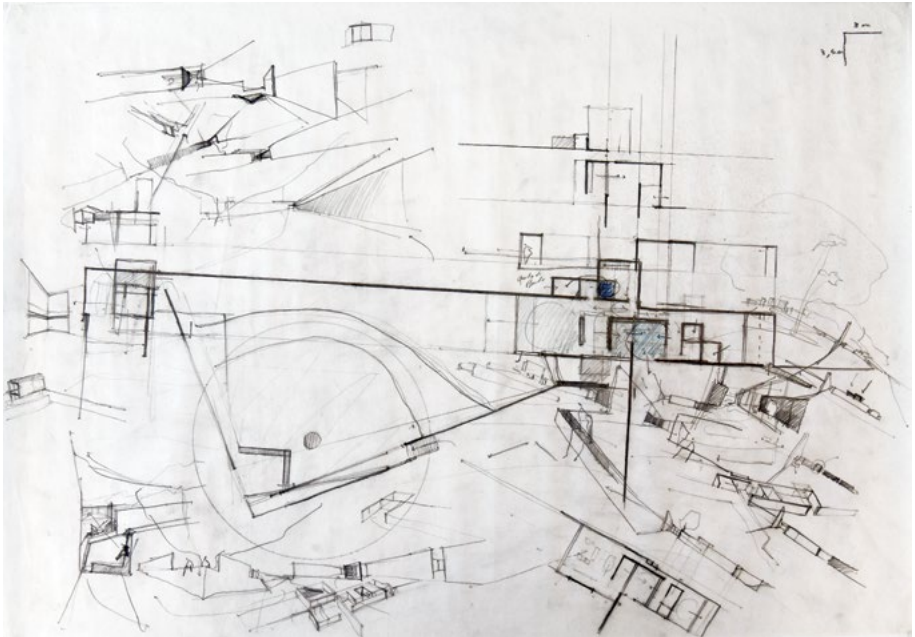
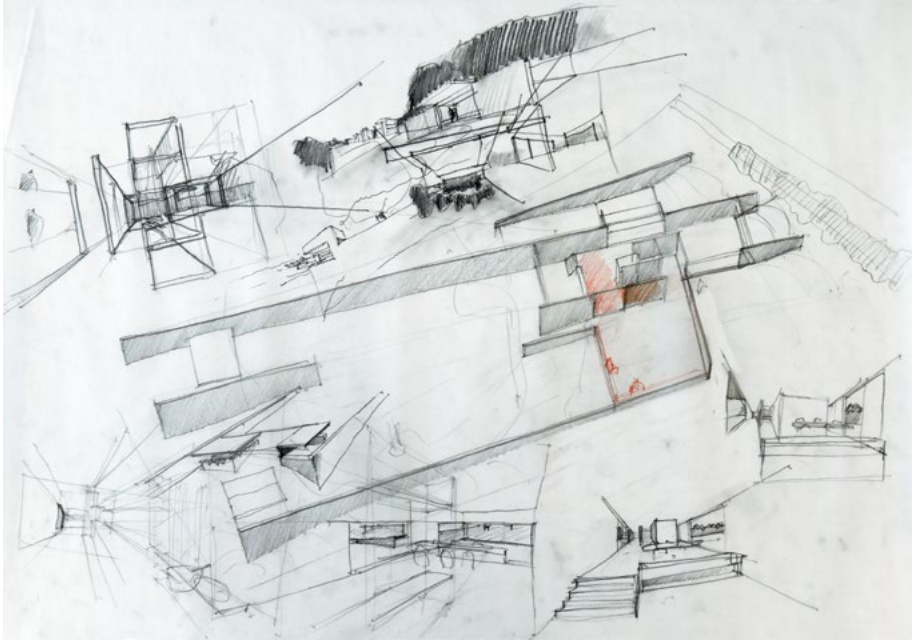
Bernardo Machado, 2020-21

Grafite, marcador de ponta fina e lápis de cor sobre papel vegetal / Graphite, fine point marker and colored pencil on tracing paper, 42 x 59,4 cm

Mestrado Integrado em Arquitectura / Integrated Master in Architecture, FAUP



- 14 *Projecto 1_3º Exercício: Habitação Temporária. Esquissos de concepção da Composição: perspectivas interiores, perspectivas exteriores, esquemas, perfis, plantas / Project 1. 3rd Exercise: Temporary Housing. Design sketches of the Composition: interior perspectives, exterior perspectives, schemes, profiles, plans*
Bernardo Machado, 2020-21
Grafite, marcador e lápis de cor sobre papel vegetal
/ Graphite, marker and colored pencils on tracing paper, 59,4 x 84,1 cm
Mestrado Integrado em Arquitectura
/ Integrated Master in Architecture, FAUP



- 15 *Projecto 1_3º Exercício: Habitação Temporária. Esquissos de concepção da Composição: perspectivas interiores, perspectivas exteriores (topo). Desenhos de verificação e síntese: planta e perfil longitudinal; perspectivas interiores, perspectivas exteriores (baixo) / Project 1_3rd Exercise: Temporary Housing. Design sketches of the Composition: perspectives from the interior and exterior (top). Verification and synthesis drawings: plan and longitudinal profile; inner perspectives, outside perspectives (bottom)*
 Bernardo Machado, 2020-21
 Grafite e lápis de cor sobre papel vegetal
 / Graphite and colour pencil on tracing paper, 59,4 x 84,1 cm
 Mestrado Integrado em Arquitectura / Integrated Master in Architecture, FAUP

