

UNIVERSIDADE ABERTA

UNIVERSIDADE DO ALGARVE



ANAMORFOSE E REALIDADE AUMENTADA:

Uma proposta de itinerário para o estudo da Geometria na
Disciplina de Educação Visual

Manuel Joaquim Flores Fernandes

Doutoramento em Média-Arte Digital
(doutoramento em associação)



MARÇO 2023

UNIVERSIDADE ABERTA UNIVERSIDADE DO ALGARVE



ANAMORFOSE E REALIDADE AUMENTADA:

**Uma proposta de itinerário para o estudo da Geometria na
Disciplina de Educação Visual**

Manuel Joaquim Flores Fernandes

Doutoramento em Média-Arte Digital
(doutoramento em associação)



Tese orientada pelo Professor Doutor António Manuel Bandeira Barata Alves de Araújo
e pelo Professor Doutor Mauro Jorge Guerreiro Figueiredo

MARÇO 2023

Agradecimentos

Gostaria de deixar uma palavra de agradecimento ao meu orientador, Professor António Araújo, da Universidade Aberta, pela partilha de experiências pessoais e pelas estimulantes oportunidades de aprendizagem que me proporcionou, bem como pela sua orientação pautada pelo rigor científico e pelo profissionalismo. Agradeço o seu apoio incondicional, as palavras de encorajamento, os desafios lançados, a compreensão e toda a confiança depositada em mim e no meu trabalho.

De igual modo agradeço ao meu orientador, Professor Mauro Figueiredo, da Universidade do Algarve, pela disponibilidade e atenção que sempre me dispensou, pela confiança, pelas sugestões teóricas e metodológicas, pelos conselhos e críticas oportunas, mas também pela compreensão e estímulo.

Agradeço ainda ao Professor Adérito Marcos, pelo incentivo, pela disponibilidade e atenção, bem como pelos ensinamentos académicos e pessoais.

Agradeço também à Professora Mirian Tavares e ao Doutor Pedro Alves Veiga pela compreensão e pelo apoio incondicional ao longo deste percurso académico.

Ao Professor José Bidarra agradeço os conselhos e sugestões bem como a partilha e reflexão no âmbito da sua participação empenhada no Encontro Internacional de Tecnologia de Realidade Aumentada na Educação.

Ao Ricardo Monteiro na organização do encont[RA]r 2019 - Encontro Internacional de Tecnologia de Realidade Aumentada na Educação – que visou a partilha e reflexão em torno da investigação, desenvolvimento e práticas no domínio das Tecnologias de Realidade Aumentada na Educação.

Gostaria também de deixar uma palavra de reconhecimento ao Professor Bruno Mendes da Silva, por todo o apoio no âmbito da minha participação na XX Bienal Internacional de Arte de Cerveira.

Deixo ainda uma nota de agradecimento à Susana Costa e à Joana Rodrigues, pelo apoio e pela valiosa colaboração nas atividades promovidas no âmbito do Centro de Investigação em Artes e Comunicação.

Ao diretor de comunicação do Sporting Clube de Braga que me acolheu nas instalações do estádio da pedreira (Estádio AXA) e permitiu o acesso às instalações para efetuar registos fotográficos das anamorfoses.

Agradeço à Eva Fernandes, pela ajuda preciosa na formatação deste trabalho.

O meu reconhecimento vai também para os alunos que aceitaram participar neste estudo e que tornaram possível este trabalho.

Uma palavra final de reconhecimento aos meus pais e irmãos, pelo encorajamento constante na minha valorização pessoal, académica e profissional, em especial à minha mãe, pela generosidade e altruísmo. À Noélia, ao Pedro e ao Diogo pelo carinho e compreensão incondicionais.

A todos, muito obrigado.

Dedicatória

Aos meus pais
Aos meus irmãos
Ao Pedro e ao Diogo
À Noélia

Resumo

A tecnologia de Realidade Aumentada tem vindo a conhecer notoriedade em diversas áreas, assumindo particular relevância no contexto educativo, tanto mais que está relativamente acessível através do uso de *smartphones* ou *tablets* que os alunos transportam diariamente para a sala de aula. Esta tecnologia oferece aos estudantes a possibilidade de combinar elementos virtuais com ambientes físicos, tornando as experiências de aprendizagem mais interativas e, por isso, mais interessantes, enriquecedoras e criativas.

Nesta investigação apresentamos os resultados da implementação de um itinerário formativo, concebido para o estudo da geometria na disciplina de Educação Visual, do 9º ano de escolaridade, sobretudo na abordagem aos conceitos de perspetiva. Este itinerário combina a utilização de modelos 3D digitais e de Realidade Aumentada com a noção de Anamorfose, procurando estabelecer uma analogia entre os contributos de Albrecht Dürer e de Filippo Brunelleschi com as atuais possibilidades da realidade mista.

Descrevemos o impacto das atividades realizadas com alunos do 9º ano de escolaridade no estudo da perspetiva, no âmbito da disciplina de Educação Visual. Com base num percurso educativo, os alunos realizaram experiências de aprendizagem combinando tecnologias imersivas com desenho analógico. Esta proposta revelou potencialidades dignas de relevo no que diz respeito à abordagem ao conceito de imersão para a perceção e representação espacial. Utilizámos perspetivas imersivas obtidas através do desenho à mão sobre uma grelha equirectangular (perspetiva curvilínea) que permite explorar uma nova reconfiguração da realidade com aplicações de Realidade Virtual.

Os resultados obtidos são promissores, tendo os alunos demonstrado facilidade na utilização desta tecnologia, revelando motivação, iniciativa e bastante autonomia no desenvolvimento dos trabalhos. Concluímos, ainda, que esta metodologia permitiu enriquecer a experiência imersiva dos alunos com a tecnologia de Realidade Virtual, melhorou a sua visualização espacial e a capacidade de representação tridimensional, tendo potenciado a autorregulação das aprendizagens.

Palavras-Chave: Realidade Aumentada, Realidade Virtual, Anamorfose, Tecnologias imersivas, Perspetiva curvilínea, Educação Visual.

Abstract

Augmented reality has gained prominence in various fields, particularly in the educational context. In this setting, it has been accessible through the use of smartphones or tablets that students bring with them to the classroom. Such technology offers students the possibility of combining virtual elements with physical environments making learning experiences more interactive and, therefore, more interesting, rich and creative.

Within this research project, findings arising from the implementation of a formative itinerary are presented. This itinerary was devised for the study of geometry within the context of the subject called Visual Education, year 9, and in particular to the study of the perspective concepts. The formative itinerary combines the use of digital 3D models and augmented reality with the notion of anamorphosis. It aims to establish an analogy between Albrecht Dürer and Filippo Brunelleschi's contributions with the current potential of mixed reality.

In this thesis, the impact of the activities developed under the formative itinerary are described with 9 year students for the study of perspective within the scope of Visual Education. Based on an educational pathway, students engaged with a set of learning experiences combining immersive technologies with analogical drawing. Such a proposal revealed a lot of potential in regard to approaches to the study of the concept of immersion for perception and spatial representation. Immersive perspectives were used and they were obtained through hand drawing on a equirectangular grid (curvilinear perspective) that enables to explore a new reconfiguration of reality with virtual reality applications.

Findings are promising as students showed easiness in the utilization of such technology and they revealed motivation, initiative and a great deal of autonomy in the development of the tasks. This kind of methodology has allowed to expand the immersive experience of the students with the virtual reality. It also enabled spatial visualization and the capacity for tridimensional representation, and it also enhanced self-regulation of their learning.

Key words: augmented reality, virtual reality, anamorphosis, immersive technologies, curvilinear perspective, Visual Education

ÍNDICE

Capítulo 1 – INTRODUÇÃO.....	1
1.1. Questões de investigação e objetivos	4
1.1.1 <i>A problemática do estudo</i>	4
1.1.2 <i>Questões de investigação</i>	4
1.1.3 <i>Objetivos</i>	5
1.2 Estrutura da tese	5
Capítulo 2 – ENQUADRAMENTO TEÓRICO E REVISÃO DA LITERATURA.....	7
2.1. Realidade Virtual, Realidade Aumentada e Realidade Mista	7
2.2. Realidade Aumentada e Anamorfozes	9
2.2.1. <i>Origem da representação anamórfica</i>	13
2.2.2. <i>Definição de anamorfose</i>	17
2.2.3. <i>Tipos de Anamorfose</i>	19
2.3 Interesse pela anamorfose na atualidade	21
2.4 Outras aplicações da anamorfose	41
2.4.1 <i>Projeto de Axel Peemöller para a sinalização de um estacionamento</i>	41
2.4.2 <i>No trânsito (passadeira para peões)</i>	43
2.4.3 <i>Publicidade (nos recintos desportivos)</i>	45
2.4.4 <i>Perspetiva com relvo ou cenográfica e teatral</i>	48
2.4.5 <i>Trompe l’oeil e anamorfose</i>	50
Capítulo 3 - CONTRIBUTOS TEÓRICOS PARA O ESTUDO DA PERSPETIVA E DA ANAMORFOSE.....	53
<i>Filippo Brunelleschi (1377-1446) – La tavoletta – dolce prospettiva</i>	54
<i>Leon Battista Alberti (1404-1472) – Piramide visiva</i>	57
<i>Piero della Francesca (1415-1492) – Prospettiva pingendi</i>	61
<i>Leonardo da Vinci (1452-1519) – Trattato della Pittura</i>	64
<i>Albrecht Dürer (1471-1528) – Perspetógrafo</i>	69
<i>Hans Holbein, o Jovem (1497-1543) – Aberrações marginais, a anamorfose</i>	73
<i>Wenzel Jamnitzer (1508-1585) - Perspectiva corporum regularium</i>	75
<i>Giacomo Vignola (1507-1573) – Prospettiva prática</i>	77
<i>Ludovico Cardi – Cigoli (1559-1613) – Trattato della Prospettiva Pratica</i>	79
<i>Jean-François Niceron (1613-1646) – La perspective curieuse</i>	83
<i>Andrea Pozzo (1642-1709) – Perspectiva pictorum et architectorum</i>	85

<i>Brook Taylor (1685-1731) – New Principles of Linear Perspective</i>	90
3.1 Integração educativa da perspetiva e da anamorfose nas tecnologias digitais	91
Capítulo 4 – PERSPETIVA E ANAMORFOSE COMO TECNOLOGIAS IMERSIVAS	93
4.1 Tecnologias digitais imersivas	94
4.2 Realidade Virtual	95
4.3 Realidade Aumentada	97
4.4 Realidade Mista	98
4.5 O estereoscópio de Wheatstone	100
4.6 O estereoscópio de Brewster	102
4.7 O estereoscópio de Holmes	103
4.8 Fotografia e estereoscopia	104
4.9 Visores de transparência – <i>View-Master</i>	107
4.10 Anáglifos	108
4.11 Autoestereogramas	116
4.12 Estereoscopia e visão binocular	117
4.13 Perspetiva e imersão visual	118
4.14 Da perspetiva curvilínea às grandes Panoramas de Robert Barker	120
4.15 Oclusão radial e anamorfose	125
4.16 Da Perspetiva Cilíndrica para o desenho imersivo	131
Capítulo 5 – METODOLOGIA DE INVESTIGAÇÃO	142
5.1. Opções metodológicas	142
5.2. A/r/tografia e metodologia baseada em arte	143
5.3. Considerações curriculares	150
5.3.1 <i>Teoria curricular técnica</i>	152
5.3.2 <i>Teoria curricular prática</i>	153
5.3.3 <i>Teoria curricular crítica</i>	154
5.4 Contextualização do estudo	156
5.5 Caracterização dos participantes	157
5.6 Técnicas e instrumentos de recolha de dados	161
5.6.1 <i>Inquérito por questionário inicial e final através do Mentimeter</i>	161
5.6.2 <i>Observação com registo diário</i>	162
5.6.3 <i>Grupo focal</i>	163
5.7 Procedimentos e técnicas de análise de dados	164
5.8 Questões de natureza ética	165

Capítulo 6 – DESENVOLVIMENTO DO ITINERÁRIO FORMATIVO PARA O ESTUDO DA PERSPETIVA.....	167
6.1 Descrição da implementação do itinerário formativo.....	167
6.1.1 <i>Projeções ortogonais e Realidade Aumentada.....</i>	167
6.1.2 <i>Construção da anamorfose de um cubo.....</i>	176
6.1.3 <i>Perspetivas imersivas com projeção equirretangular.....</i>	194
6.1.4 <i>Projeto artístico.....</i>	214
6.1.5 <i>Artefacto digital final.....</i>	219
6.2 Discussão dos resultados.....	221
6.2.1 <i>A centralidade do aluno no processo de ensino-aprendizagem.....</i>	222
6.2.2 <i>O uso das tecnologias digitais.....</i>	226
6.2.3 <i>Motivação e empenho.....</i>	234
6.2.4 <i>Colaboração e autorregulação das aprendizagens.....</i>	235
Capítulo 7 – CONCLUSÃO.....	237
REFERÊNCIAS.....	247
ANEXOS.....	258
Anexo I – Pedidos de autorização para a realização do estudo.....	260
Anexo II – Instrumentos de recolha de dados.....	264
Anexo III - Cronologia da aplicação do itinerário formativo.....	274
Anexo III – Óculos 3D anáglifo.....	277

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 5.1 Caracterização dos alunos por sexo	157
Gráfico 5.2 Tipo de equipamentos que os alunos possuem	158
Gráfico 5.3 Quantidade de tempo durante o qual os alunos se ligam à <i>internet</i>	158
Gráfico 5.4 Redes sociais utilizadas pelos alunos	159
Gráfico 5.5 Tipo de utilização que os alunos dão ao <i>smartphone</i> na escola	160
Gráfico 6.1 Atividades preferidas pelos alunos ao longo do 1º período	228
Gráfico 6.2 Satisfação dos alunos com a utilização da RA nas aulas de Educação Visual.....	230
Gráfico 6.3 Importância da RA para a compreensão da noção de perspectiva	230
Gráfico 6.4 Importância da RA para a compreensão dos fenómenos de ilusão ótica	231
Gráfico 6.5 Importância das anamorfoses na compreensão dos fenómenos de ilusão ótica	231
Gráfico 6.6 Importância da construção de anamorfoses para a compreensão da perspectiva	232
Gráfico 6.7 Atividades preferidas pelos alunos ao longo do 2º e 3º períodos	233

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1 "Virtuality continuum" (Milgram & Kishino, 1994)	7
Figura 2.2 "O desenhador e o alaúde" (Dürer, 1525)	9
Figura 2.3 "Travolleta" (Brunelleschi)	11
Figura 2.4 Falsa cúpula – Igreja de Santo Inácio (Andrea Pozzo).....	12
Figura 2.5 Desenho anamórfico – Face e olho (Leonardo Da Vinci)	13
Figura 2.6 Projeção lateral de cálice num plano (Piero della Francesca).....	14
Figura 2.7 "The Ambassadors" (Hans Holbein O Jovem)	14
Figura 2.8 "Magia universalis natura et artis" (Gasparis Schotti)	15
Figura 2.9 Aplicações práticas da perspetiva, catóptrica e dióptrica (Nicéron)	20
Figura 2.10 <i>Portrait De Dali</i> (Bernard Pras).....	23
Figura 2.11 Vermelho, amarelo e azul entre círculos e trapézios (Felice Varini).....	24
Figura 2.12 "Anamorphic Typography" (Joseph Egan e Hunter Thompson)	25
Figura 2.13 Pintura anamórfica (Georges Rousse).....	26
Figura 2.14 CULTURA / SVEGLIA / POPOLO (Boamistura).....	27
Figura 2.15 "Perception" no bairro de Manshiyat Nasr, Cairo (eL Seed).....	28
Figura 2.16 "Make Povert History", The Globe (Julian Beever)	30
Figura 2.17 "The Crevasse", Irlanda, 2008 (Edgar Müller).....	31
Figura 2.18 "3D Lego terracotta army" (Leon Keer)	32
Figura 2.19 "3D mural at Staples Center come to life through augmented reality" (Leon Keer)	33
Figura 2.20 "Anamorphic Alligator", Museum of Public Art (Sérgio Odeith).....	34
Figura 2.21 Anamorfose Oblíqua Plana (João Pedro Xavier)	35
Figura 2.22 Anamorfose de um cubo pelo método do foco luminoso (António Oriol Trindade)....	36
Figura 2.23 Anamorfose de um cubo em três planos (António Araújo e M ^a Aguiar)	37
Figura 2.24 Anamorfose cónica (António Araújo e Manuel Flores).....	38
Figura 2.25 Anamorfose Elipse, Noite Branca de Braga (Tiago Azevedo).....	39
Figura 2.26 "Tiles" (César Silva, Cristiano Alves, Diogo Barbosa e João Naia)	40
Figura 2.27 Projeto de sinalização na Eureka Tower Carpark, em Melbourne (Axel Peemöller)	42
Figura 2.28 <i>Stadium Signage</i> 2004, Estádio AXA (António Queirós)	43
Figura 2.29 Passadeira 3D em Ísafjörður, Islândia	44
Figura 2.30 Projeção ortográfica de uma passadeira (Manuel Flores)	44
Figura 2.31 Passadeira em Realidade Aumentada (Manuel Flores)	45
Figura 2.32 Publicidade anamórfica – Estádio AXA (Manuel Flores)	46
Figura 2.33 Posição de conforto para observar o dispositivo publicitário.....	47
Figura 2.34 Dimensões para a conceção do dispositivo publicitário	47
Figura 2.35 Decoração de Andrea Pozzo no corredor da Casa Professa de Gezù	50
Figura 3.1 Diagrama de demonstração da 1 ^a tavoletta (adaptado de Martin Kemp, 1990)	55
Figura 3.2 "A Santíssima Trindade" (Masaccio)	56
Figura 3.3 Pirâmide visual e plano da imagem (Alberti)	58
Figura 3.4 Representação da <i>costruzione legittima</i> (João Pedro Xavier).....	58
Figura 3.5 Pirâmide visual de Alberti, por A. Bosse (à esquerda) e por B. Taylor (à direita)	59
Figura 3.6 Conceito de <i>piramide visiva</i> na construção geométrica do mecanismo projetivo (Alberti)	60
Figura 3.7 A cidade ideal de Urbino	62
Figura 3.8 <i>De Prospectiva Pingendi</i> , Livro II, proposição III, f.17 (Piero della Francesca).....	63
Figura 3.9 "Perspetógrafo para desenhar esfera armilar" (Leonardo da Vinci)	64
Figura 3.10 "Estudo perspético da Adoração dos Magos" (Leonardo da Vinci, 1481)	65
Figura 3.11 "A virgem dos rochedos" (Leonardo da Vinci)	66
Figura 3.12 "Estudos sobre sombras" (Leonardo da Vinci).....	67

Figura 3.13 Estudos sobre o paradoxo de Leonardo (Leonardo da Vinci)	67
Figura 3.14 “Paradoxo de Leonardo” (Vereycken, 1996, p. 59).....	68
Figura 3.15 “Perspetógrafos – cavalete e grade de observação” (Albrecht Dürer).....	70
Figura 3.16 “Perspetógrafo – visor de vidro” (Albrecht Dürer)	71
Figura 3.17 “O artista desenhando um alaúde”, portinhola (Albrecht Dürer)	72
Figura 3.18 Construção em perspetiva da sombra de um cubo (Albrecht Dürer).....	73
Figura 3.19 Anamorfose da caveira em “Os Embaixadores” (Hans Holbein)	74
Figura 3.20 Desenho de sólidos em perspetiva de Wenzel Jamnitzer (Jost Amman).....	76
Figura 3.21 Reconstituição de perspetiva de Wenzel Jamnitzer (Andres Martin-Pastor)	76
Figura 3.22 <i>Le due regole della prospettiva pratica</i> (Vignola)	77
Figura 3.23 <i>Anamorfose plana de Vignola</i> (Ignatio Danti).....	78
Figura 3.24 Perspetógrafo de Vignola.....	78
Figura 3.25 “Pirâmide visual com a superfície curvilínea do dispositivo de Baldassarre” (Ignatio Danti).....	79
Figura 3.26 “Imaculada Conceição na Capela Paulina”, Santa Maria Maggiore (Cigoli, 1612).....	80
Figura 3.27 “Dispositivo perspético de Lodovico Cigoli”, London, British Museum	81
Figura 3.28 Detalhe do “Dispositivo perspético de Lodovico Cigoli”, London, British Museum	82
Figura 3.29 Estrutura anamórfica a partir do <i>Thaumaturgus Opticus</i> (Niceron).....	84
Figura 3.30 “A construção geométrica da anamorfose” (Niceron).....	84
Figura 3.31 Detalhe do frontispício da obra <i>La Perspective Curieuse, ou Magie artificiele des effets merveilleux...</i> (Niceron, 1638).....	85
Figura 3.32 “Representação dos Quatro Continentes” na nave da Igreja de Santo. Inácio, em Roma (Andrea Pozzo)	86
Figura 3.33 “Construção da falsa cúpula usando elementos de perspetiva” (Andrea Pozzo).....	87
Figura 3.34 Prolongamento das colunas de pedra com a pintura (Andrea Pozzo).....	88
Figura 3.35 Construção da falsa cúpula usando elementos de perspetiva (Andrea Pozzo)	89
Figura 3.36 Falsa cúpula na Igreja de Santo Inácio, em Roma (Andrea Pozzo)	90
Figura 4.1 Dispositivos para realidade virtual imersiva	94
Figura 4.2 Realidade Virtual (Adobe)	96
Figura 4.3 Realidade Aumentada (RubyGarage).....	97
Figura 4.4 Realidade Mista (Microsoft).....	99
Figura 4.5 Estereoscópio de <i>Wheatstone</i> (David Brewster)	100
Figura 4.6 Primeiros desenhos estereoscópicos (Wheatstone, 1845).....	101
Figura 4.7 Estereoscópio de David Brewster (1845).....	102
Figura 4.8 Estereoscópio tipo Holmes	103
Figura 4.9 Câmara estereoscópica binocular (<i>Camera with Rollfilm Holder-1910 à esquerda, Sliding Box -1865 ao centro, Camera and Viewer-1890 à direita</i>).....	104
Figura 4.10 Estereoscópio do tipo <i>Brewster</i>	105
Figura 4.11 Camaras estereoscópicas (<i>Verascope à esquerda</i>) e (<i>Kodak à direita</i>)	106
Figura 4.12 Auto-retrato de Carlos Relvas (1868-1869) no primeiro estúdio, numa prova estereoscópica em albumina colada em cartão.....	106
Figura 4.13 <i>View-Master</i> (William Gruber)	107
Figura 4.14 <i>Le mélanochromosome</i> (Louis Ducos du Hauron, 1899)	108
Figura 4.15 Anáglifo com síntese em negro.....	109
Figura 4.16 Óculos 3D para visionar o “Monstro da Lagoa Negra”, RTP (1985).....	110
Figura 4.17 <i>Glass Enterprise</i> , Edition 2 com armações de segurança da <i>Smith Optics</i>	111
Figura 4.18 <i>HoloLens 2</i> da <i>Microsoft</i>	112
Figura 4.19 Protótipo revelado dos <i>Apple Glass</i>	113
Figura 4.20 Óculos 3D em <i>Back to the Future</i> (1985)	114
Figura 4.21 Óculos de Realidade Virtual em <i>Ready Player One</i> (2018)	114

Figura 4.22 <i>Kraftwerk</i> em concerto em Lisboa, 2019	115
Figura 4.23 Óculos polarizados para espetáculo dos <i>Kraftwerk</i>	116
Figura 4.24 Estereograma com esquiador, 1994 (N.E.Thing Enterprises)	117
Figura 4.25 Fim do Mundo: single dos Xutos & Pontapés	119
Figura 4.26 <i>Entrée de l'empereur Charles IV à Saint-Denis</i> , 1994 (Jean Fouquet).....	120
Figura 4.27 <i>The Arnolfini Portrait</i> (Jan Van Eyck, 1434).....	121
Figura 4.28 Superfície cilíndrica tangente à esfera.....	121
Figura 4.29 <i>Coloured Panorama of Edinburgh</i> (Robert Barker).....	122
Figura 4.30 Corte transversal do Panorama de Robert Barker, Leicester Square, Londres.....	123
Figura 4.31 Corte da rotunda, com destaque para a curvatura da tela pintada (Lescop).....	124
Figura 4.32 Evidência do princípio da oclusão radial.....	126
Figura 4.33 Objetos diferentes no mesmo cone visual (Araújo, 2020a).....	126
Figura 4.34 O espaço acelerado e contraperspectivo como espaço piramidal (Xavier, 1995)	48
Figura 4.35 Representação do Quarto de Ames (Riccardo B.).....	49
Figura 4.36 Projeção de dois pontos sobre a superfície do cilindro e planificação do cilindro	132
Figura 4.37 Construção geométrica da anamorfose de duas linhas sobre o cilindro	134
Figura 4.38 Projeção de uma reta sobre a superfície do cilindro	134
Figura 4.39 Projeção de três pontos e limitação do corte do cilindro	135
Figura 4.40 Grelha equirretangular com perspectiva dos pontos P', R, S e T	136
Figura 4.41 Desenho preparatório e trabalho final de NY6AM, Nathan Walsh.....	137
Figura 4.42 Desenho de perspectiva para Panoramas Imersivos, António Araújo	138
Figura 5.1 Breve fundamentação da teoria curricular técnica (Pacheco, 2001, p. 37).....	152
Figura 5.2 Breve fundamentação da teoria curricular prática (Pacheco, 2001, p. 40)	154
Figura 5.3 Breve fundamentação da teoria curricular crítica (Pacheco, 2001, p. 40).....	155
Figura 6.1 Visualização de objeto em tripla projeção ortogonal	167
Figura 6.2 Projeção de um ponto num plano	168
Figura 6.3 Dupla projeção ortogonal	169
Figura 6.4 Peça dois para representação em dupla projeção ortogonal	169
Figura 6.5 Tripla projeção ortogonal.....	170
Figura 6.6 Algumas das peças criadas pelos alunos.....	171
Figura 6.7 Visualização das peças criadas pelos alunos.....	172
Figura 6.8 Impressão 3D das peças criadas pelos alunos	172
Figura 6.9 Trabalhos dos alunos em tripla projeção ortogonal	173
Figura 6.10 Realidade mista - vistas ortogonais e modelo virtual	173
Figura 6.11 Vistas ortogonais e modelo impresso em 3D.....	174
Figura 6.12 O desenhador e o alaúde de Dürer (1525) adaptada	176
Figura 6.13 Imagem apresentada aos alunos, elaborada em SketchUp.....	177
Figura 6.14 Construção da anamorfose em espaço amplo.....	178
Figura 6.15 Interação com a anamorfose em espaço amplo.....	179
Figura 6.16 Anamorfose como marcador para realidade aumentada com HP Reveal.....	179
Figura 6.17 Vistas ortográficas de uma anamorfose (desenho elaborado pelo Alexandre).....	182
Figura 6.18 Foto tirada ao desenho a partir do ponto do observador (desenho elaborado pela Andreia)	183
Figura 6.19 Anamorfose com cor (trabalho elaborado pela Carolina)	184
Figura 6.20 Anamorfose de um cubo com sombra a partir de luz artificial.....	186
Figura 6.21 Composição de realidade mista (trabalho elaborado pela Catarina)	187
Figura 6.22 Composição de realidade mista (elaborada pelos alunos)	188
Figura 6.23 Pontos de fuga de uma anamorfose (aplicação Augment).....	189
Figura 6.24 Anamorfose de um cubo na esfera (Araújo, 2020a).....	190
Figura 6.25 Anamorfose em anáglifo para visualização com óculos 3D	192

Figura 6.26 Representação em <i>SketchUp</i> da imagem visualizada com óculos 3D anáglifo.....	193
Figura 6.27 Criação de imagens estereoscópicas para visualização com óculos 3D anáglifo.....	194
Figura 6.28 Desenhando intuitivamente a perspectiva cilíndrica.	195
Figura 6.29 Artefacto criado para desenhar perspectiva cilíndrica.....	195
Figura 6.30 Instrumento para medir alturas – esquadro geométrico	196
Figura 6.31 Identificação dos pontos de fuga em perspectiva cilíndrica.....	197
Figura 6.32 Instrumento improvisado para medir ângulos.	198
Figura 6.33 Foto panorâmica da sala de aula	198
Figura 6.34 Grelha equirretangular para desenho imersivo.....	199
Figura 6.35 Representação do cone visual.....	200
Figura 6.36 Perspetiva cónica (um ponto de fuga) quarto de van Gogh em Arles	201
Figura 6.37 Representação de volumes (paralelepípedos) em grelha equirretangular	202
Figura 6.38 As três versões do quarto de van Gogh em Arles	203
Figura 6.39 Desenhos iniciais dos alunos sobre o quarto de van Gogh.....	203
Figura 6.40 Aplicação de cor na representação quarto de van Gogh.....	205
Figura 6.41 Aplicação de cor na representação quarto de van Gogh.....	205
Figura 6.42 Desenhos dos alunos em perspectiva equirretangular	206
Figura 6.43 Perspetiva equirretangular do quarto de van Gogh (André)	207
Figura 6.44 Imagem imersiva do trabalho do André sobre o quarto de van Gogh	208
Figura 6.45 Dispositivos do tipo Google cardboard para Realidade Virtual	209
Figura 6.46 Alunos a visualizar os seus trabalhos com óculos de Realidade Virtual do tipo <i>cardboard</i>	210
Figura 6.47 Visualização com <i>Google Cardboard</i> do desenho em perspectiva equirretangular	211
Figura 6.48 Visualização 3D da perspectiva equirretangular e <i>app Virtual Bedrooms</i>	212
Figura 6.49 Visualização imersiva com óculos de Realidade Virtual da perspectiva equirretangular e <i>app Virtual Bedrooms</i>	213
Figura 6.50 Desenho 3D para modelo de Chaimite	215
Figura 6.51 Escultura digital.....	216
Figura 6.52 Elementos da Tabela Periódica em Realidade Aumentada	216
Figura 6.53 Ilusões de ótica – <i>Ames Room</i>	216
Figura 6.54 Anamorfose de um quadrado em três planos	217
Figura 6.55 Anamorfose de um cubo em três planos	217
Figura 6.56 Realidade Aumentada para Bienal na Escola	218
Figura 6.57 Anamorfose em superfície curva	218
Figura 6.58 Anamorfose cilíndrica	219

LISTA DE ABREVIATURAS

3D - Tridimensional

ART - *Artist-researcher-teachers*

CCD – *Changed-coupled device*

GD - Geometria Descritiva

GPS – *Global Positioning System*

RA – Realidade Aumentada

RM – Realidade Mista

RV – Realidade Virtual

Capítulo 1 – INTRODUÇÃO

A transformação digital é vista como um dos desafios da escola para o século XXI, que, segundo o Quadro Europeu de Competência Digital para Cidadãos, se traduz na necessidade de promover nos alunos as competências necessárias para o uso das tecnologias digitais de forma crítica e criativa (Lucas & Moreira, 2018)¹. No entanto, a utilização das tecnologias móveis digitais na educação constitui uma das áreas em relação à qual se verificou alguma resistência, questionando as potencialidades e oportunidades que a tecnologia encerra, na medida em que, em alguns contextos escolares, se discutiu, por exemplo, a proibição do uso do telemóvel na sala de aula. Todavia, considerada inicialmente como ameaça, esta tecnologia tem vindo a revelar enormes potencialidades para o processo de ensino-aprendizagem. Contudo, é necessário notar que o recurso às tecnologias digitais deverá ultrapassar a mera substituição das ferramentas analógicas para compreender uma redefinição das metodologias tradicionais e da própria conceção curricular com implicações para o papel do professor e do aluno na sala de aula.

Deste modo, os professores são desafiados a proporcionar experiências de aprendizagem aos estudantes que potenciem o desenvolvimento das suas competências e habilidades necessárias à construção do próprio conhecimento, assumindo o professor o papel não apenas de facilitador, mas também de alguém que lidera e promove a partilha de conhecimento e a criação de comunidades de aprendizagem. Trata-se de fomentar a motivação para a procura de novos saberes, através de um processo de interações, em que ao professor cabe o papel de preparar um vasto conjunto de materiais, sugestões e propostas que os alunos devem consultar e aprofundar em ambientes que se poderão deslocar, em grande medida, para o mundo digital.

Não obstante, esta transformação não deverá limitar-se à presença dos *smartphones* e dos *tablets*, ou outros equipamentos à disposição da sala de aula; mas implica novas e complexas exigências a vários níveis que deverão ir para além da mediação tecnológica

¹ Primeiramente publicado, em Inglês, em 2017, com o título "European Framework for the Digital Competence of Educators: DigCompEdu" pelo Joint Research Centre da Comissão Europeia - © União Europeia, 2017.

para incluir dimensões curriculares e pedagógicas. Ela assenta na possibilidade de estabelecer, a qualquer momento, interações entre o professor e os alunos e entre estes, permitindo que o espaço da sala de aula seja multiplicado e, em certa medida, ampliado, de acordo com as possibilidades e condições dos alunos. Esta visão implica o entendimento do currículo como um projeto aberto e flexível que inclui formas diversificadas (e criativas) de ensinar e de aprender, ou seja, como define Pérez Gómez (2012), um currículo emergente, baseado em problemas ou em situações, entendido não como lista de conteúdos, mas como um itinerário de experiências transformadoras da pessoa à luz do seu projeto pessoal, social e profissional.

Tal implica, necessariamente, uma redefinição metodológica e a assunção do professor enquanto agente do currículo, tendo como foco o seu principal destinatário – o aluno, o que, por sua vez, pressupõe que o processo e o tempo de aprendizagem também poderão ser geridos pelos alunos de acordo com as orientações do professor e com os seus próprios ritmos de aprendizagem. Assim, esta perspetiva permitirá que os alunos possam esclarecer alguns aspetos dos trabalhos a realizar aceitando que o espaço para o desenvolvimento ou apropriação de novos conhecimentos possa ser também em ambiente virtual. No futuro próximo, os sistemas digitais emergentes transformarão o modo como comunicaremos, na medida em que possibilitarão novos contextos para a realização de experiências de aprendizagem inovadoras, virtuais e mais ou menos imersivas.

Neste trabalho de investigação descrevemos o processo de implementação e o impacto das atividades realizadas com alunos do 9º ano de escolaridade no estudo da perspetiva, no âmbito da disciplina de Educação Visual. Esta abordagem partiu, essencialmente, dos contributos teóricos e práticos de Albrecht Dürer e de Filippo Brunelleschi, permitindo estabelecer evidentes analogias com as atuais possibilidades da Realidade Virtual e Realidade Aumentada (Flores et al., 2017).

Consideramos, também, que a anamorfose, fonte de admiração para artistas e curiosos, exalta um fascínio que a tornaria um poderoso dispositivo didático, não fossem os infelizes equívocos que a cercam, em que a anamorfose é vista como a irmã trapaceira da perspetiva, charmosa, mas não séria (Araújo, 2020a).

Contudo, a anamorfose sofreu uma profunda revisão na era da Realidades Virtual. Vários autores destacam que essas inovações digitais são apenas a mais recente iteração de ilusões imersivas do passado (Grau, 1999, 2003), nomeadamente, dos tetos das igrejas de Pozzo ou dos panoramas de Baker (Oettermann, 1997 e Kemp, 1990). Assim, as tecnologias digitais trazem a debate uma maior flexibilidade, e a sua implementação requer uma clareza já que frequentemente parecem limitar a ideia de anamorfose ao tipo mais simples de ilusões de “olho mágico”, ou seja, uma seleção enganosamente redutora quando consideramos toda a extensão da obra de Nicéron (De Rosa, 2019), e ainda mais injustificada quando consideramos as técnicas de Andrea Pozzo (1693) que aplicou em tetos ilusórios de igrejas, que são na sua essência imersivos. A investigação que se descreve nesta tese segue, ainda, uma série recente de trabalhos onde Araújo (2017a, 2018a, 2020a) propõe uma definição de anamorfose como um conceito fundamentalmente imersivo (anamorfose esférica) com aplicação tecnológica. A anamorfose esférica é concretizada primeiro pelo uso de uma máquina de Dürer adaptada, feita para funcionar como gerador de anamorfose; em seguida, abstraída através da geometria descritiva e, finalmente, tornada imersiva através da combinação de aplicações de Realidade Virtual com a perspectiva equirretangular e panoramas de Realidade Virtual. Este método aplicado com jovens estudantes tem o duplo propósito de usar tecnologias como Realidade Aumentada para facilitar o ensino dos princípios de perspectiva e geometria descritiva, e, ainda, usar esses princípios para desvendar os segredos que escondem a implementação dessas tecnologias. Esse ciclo de feedback ajudará os alunos a entender tanto a teoria da representação quanto as tecnologias digitais que eles usam todos os dias.

A escolha desta temática decorreu de razões pessoais, profissionais e académicas. Do ponto de vista pessoal, trata-se de um tema bastante motivador pela admiração que temos sobre o trabalho de Andrea Pozzo, mas também pelas ilusões de ótica urbanas da atualidade, designadamente, com os *new anamorphic graffiti artworks*. Quanto às razões de ordem profissional, elas prendem-se com a nossa experiência enquanto docente no ensino básico e com a constatação de que as anamorfoses encerram potencialidades para o estudo da perspectiva. Acresce ainda a possibilidade de relacionar a Realidade Aumentada com a noção didática da Anamorfose e melhorar as aprendizagens dos alunos ao nível da

perceção espacial e representação tridimensional. Quanto às motivações académicas, a escolha desta temática encerra um carácter inovador pela abordagem aos conceitos fundamentais de anamorfose e de perspetiva, mas também pela oportunidade de refletir e investigar sobre a aplicação das tecnologias digitais que misturam ambiente virtual e ambiente real com as anamorfozes.

1.1. Questões de investigação e objetivos

1.1.1 A problemática do estudo

Constitui-se como problema central deste trabalho de investigação analisar as vantagens do recurso à Realidade Aumentada e ao estudo das Anamorfozes no ensino da geometria, e de um modo particular da perspetiva, no 3º ciclo do ensino básico, bem como avaliar os seus contributos para o desenvolvimento da perceção espacial dos alunos e da representação tridimensional.

Para alcançar este propósito realizámos um estudo que incide na implementação de um itinerário formativo, que combina a utilização de aplicações digitais de Realidade Aumentada com a utilização de um método analógico, no sentido de estimular os alunos a desenhar à mão, utilizando os instrumentos clássicos de desenho.

1.1.2 Questões de investigação

As questões de investigação que nortearam este trabalho foram as seguintes:

- (1) Que relação poderá ser estabelecida entre os princípios fundadores da perspetiva dos séculos XV a XVII e as possibilidades atuais da Realidade Aumentada?
- (2) Quais as potencialidades da utilização das aplicações de Realidade Aumentada para o estudo dos sistemas de representação no ensino básico?
- (3) Será possível reabilitar o perspetógrafo de Dürer para o estudo da geometria no 3º ciclo do ensino básico?

1.1.3 Objetivos

No seguimento da delimitação do problema de investigação, identificámos um conjunto de objetivos que estiveram na base da realização deste projeto e que enunciamos de seguida:

- (1) Desenvolver artefactos em Realidade Aumentada que permitam visualizar diagramas em anamorfose;
- (2) Projetar aplicações em Realidade Aumentada para a abordagem dos conceitos básicos da perspetiva linear;
- (3) Desenvolver um itinerário formativo para o desenho de anamorfoses integrado no programa de Educação Visual do 3º ciclo de escolaridade;
- (4) Identificar potencialidades e constrangimentos na implementação do itinerário formativo;
- (5) Compreender as perceções e as experiências de aprendizagem dos alunos ao longo do itinerário formativo;
- (6) Avaliar o contributo desta abordagem para a compreensão dos conceitos inerentes à construção da perspetiva e ao desenvolvimento da perceção espacial dos alunos.

1.2 Estrutura da tese

O presente trabalho encontra-se estruturado em sete capítulos cujo sumário é apresentado de seguida.

No Capítulo I - Da problemática aos objetivos de investigação, procede-se à contextualização do tema e da problemática em análise bem como à apresentação das questões de investigação e dos objetivos que presidiram à investigação realizada, procurando ainda justificar e enquadrar brevemente a temática em causa. Por fim, apresenta-se, de forma breve, a estrutura da tese.

No Capítulo II – Enquadramento teórico, apresentam-se os conceitos fundamentais subjacentes a este trabalho de investigação bem como a sua aplicação no campo artístico e na investigação recente.

No Capítulo III – Fazemos uma retrospectiva sobre os contributos teóricos e práticos para o estudo da perspectiva e da anamorfose apontando a relevância da sua integração educativa com as tecnologias digitais.

No Capítulo IV – Analisamos os conceitos de perspectiva e anamorfose como tecnologias imersivas por comparação com a evolução dos equipamentos tecnológicos para a visualização tridimensional, finalizando com uma proposta para o desenho imersivo através da combinação das perspectivas curvilíneas com a realidade virtual.

No Capítulo V – Explicitamos a metodologia de investigação subjacente a este trabalho com destaque para a metáfora da a/r/tografia e para a perspectiva da *Arts-Based Research*. Abordamos ainda os pressupostos curriculares que nortearam esta investigação na componente empírica e apresentamos a contextualização do estudo bem como todos os procedimentos de investigação.

No Capítulo VI - Apresentamos e discutimos a conceção e implementação do itinerário formativo para o estudo da geometria no 9º ano de escolaridade e descrevemos os principais resultados alcançados.

Por último, no Capítulo VII – Apresentamos as conclusões deste trabalho, discutindo as suas implicações e identificando as limitações bem como sugestões para trabalhos futuros neste domínio.

Capítulo 2 – ENQUADRAMENTO TEÓRICO E REVISÃO DA LITERATURA

2.1. Realidade Virtual, Realidade Aumentada e Realidade Mista

A Realidade Aumentada (RA) é um conceito que abarca diversas definições, no entanto, todas elas têm em comum a possibilidade de combinar a integração de objetos reais em ambientes virtuais, criando um ambiente misto. Azuma (1987), Zhou, Duh, e Billinghurst (2008) definem RA como sendo uma tecnologia que permite ao utilizador ver o mundo real com objetos sobrepostos ou com objetos que se fundem com o mundo real. Kirner e Tori (2006) sublinham que a RA remete para o enriquecimento do ambiente real com objetos virtuais, através de dispositivos tecnológicos que funcionam em tempo real.

Por sua vez, Feiner et al. (1997) salientam que, enquanto a Realidade Virtual (RV) substitui o mundo real, a RA complementa-o com informação adicional. Em qualquer dos casos, quer o conceito de RV, quer o conceito de RA, traduzem a existência de uma interface de interação homem-máquina que permite a navegação e imersão num ambiente sintético tridimensional de forma natural e intuitiva, em tempo real, utilizando canais multissensoriais (Kirner & Tori, 2006).

Milgram e Kishino (1994) desenvolveram uma taxonomia baseada na Realidade Mista – “Mixed Reality” – que designaram de “virtuality continuum” que envolve a fusão e complementaridade do ambiente real e do ambiente virtual (cf. Figura 2.1).



Figura 2.1 "Virtuality continuum" (Milgram & Kishino, 1994)

Estes autores sugerem que, no âmbito da Realidade Mista, existem dois tipos de ambientes: os de RA mais próximos do ambiente real, e os de Virtualidade Aumentada mais próximos do ambiente virtual. O autor clarifica, ainda, que, se o utilizador interagir com os

objetos virtuais em ambientes reais, estará perante uma situação de RA. Por outro lado, se o utilizador interagir com objetos reais em dispositivos de RV, ele estará perante um ambiente de virtualidade aumentada. Contudo, alerta para a possibilidade de a evolução tecnológica dificultar a distinção entre predominantemente “real” ou predominantemente “virtual” pelo que sugere o termo “Mixed reality” para cobrir esta área cinzenta.

A RA é considerada uma tecnologia emergente e tem sido adaptada a várias áreas do conhecimento, como, por exemplo, na medicina, na psicologia, na robótica, na arquitetura e também na educação. Na área artística, Veiga (2012) e Lopes (2014) reconhecem vantagens em usar técnicas de RA para a visualização de informação em modelos virtuais tridimensionais (3D) de edifícios e ainda na decoração de interiores, como forma de interação para apoiar o desenvolvimento de projetos. Pereira (2013) sugere também que a utilização da RV, através do jogo digital, se transforma numa ferramenta de previsão de projeto em espaço e tempo real.

Por sua vez, Noval (2013) constata que, tradicionalmente, no ensino da geometria, os alunos revelam dificuldades na perceção da tridimensionalidade, quando esta é representada em duas dimensões. A autora testou a aplicação “Easy Math” em alunos do 3.º ciclo e sugere que o recurso à RA na visualização 3D poderá ajudar a ultrapassar esta dificuldade. Os resultados apontam para o progresso das aprendizagens por parte dos jovens que utilizaram a aplicação de RA. Noutro estudo sobre a RA na aprendizagem da matemática no ensino secundário, Figueiredo, et al. (2015) apresentam um conjunto de tarefas matemáticas suportadas por tecnologia de RA baseadas em visão computacional que encerram diversas potencialidades pedagógicas.

A RA permite a sobreposição de objetos virtuais no mundo real, facilitando a concretização ideias através de novos modos de visualização, comunicação e interação com pessoas e informação (Kirner, 2004). Esta tecnologia proporciona ao utilizador uma manipulação combinada de objetos reais em interação com objetos virtuais (Billinghurst & Kato, 2003) que tornam a experiência motivadora (Billinghurst & Duenser, 2012). Nesta ordem de ideias, os sistemas de RA contribuem para melhorar a motivação dos alunos e estimular a

aprendizagem e a compreensão dos conceitos básicos da geometria, 2007; Noval, 2013; Castro, 2016).

2.2. Realidade Aumentada e Anamorfoses

A utilização dos sistemas de RA na educação visa melhorar a aprendizagem dos alunos através de experiências vividas em ambientes imersivos e poderá contribuir para a compreensão dos conceitos inerentes ao estudo da geometria. Contudo, para que o uso da tecnologia proporcione aprendizagens significativas e a aquisição de conhecimento, será conveniente que estas tecnologias sejam também tratadas como um conceito a ser explorado nas suas componentes básicas. No âmbito deste estudo, seguimos a hipótese sugerida por Araújo (2017a) de confrontação da tecnologia de RA com os princípios de anamorfose. O autor argumenta que a realidade mista é uma aplicação direta dos princípios de construção de anamorfoses, materializados pela máquina de perspectiva de Albercht Dürer (1471-1528).

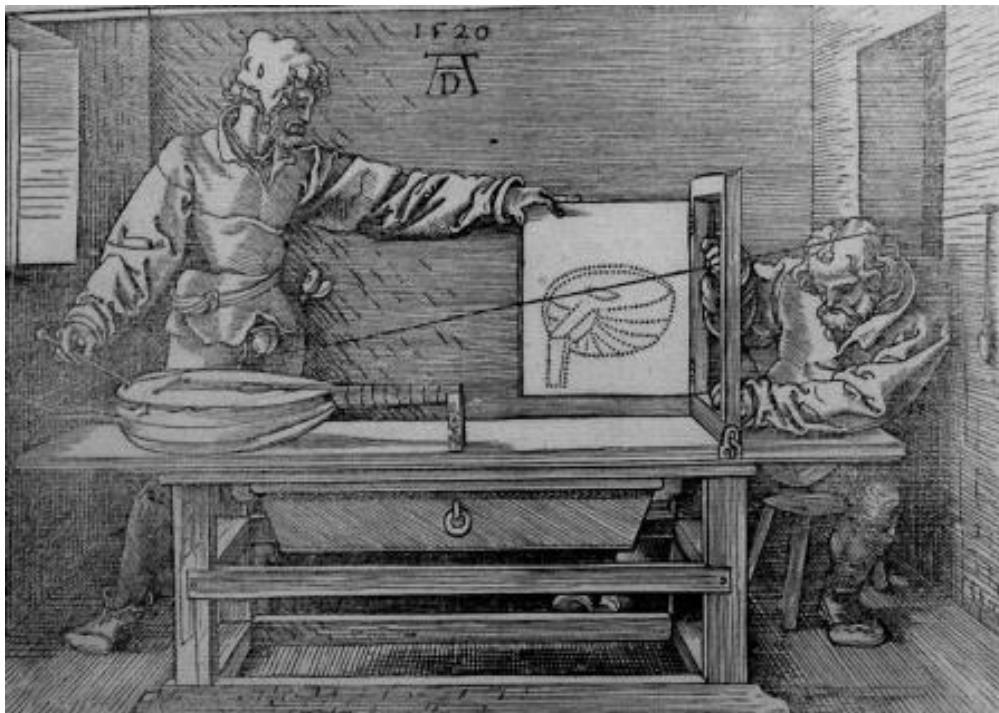


Figura 2.2 "O desenhador e o alaúde"² (Dürer, 1525)

² <https://www.rijksmuseum.nl/en/collection/RP-P-OB-1491>

No dispositivo desenvolvido por Dürer, os raios visuais são materializados por um fio orientável em qualquer direção desde um ponto fixo na parede até ao objeto a desenhar. Desta forma, o desenho era meticulosamente reproduzido pelo trabalho articulado de dois operadores, em que um vai definindo os pontos observados, e o outro estabelece as suas coordenadas num plano de intersecção, estrategicamente colocado (cf. Figura 2.2).

Estas máquinas de desenhar perspectiva tornaram-se símbolos de Dürer, mesmo quando foram, por diversas vezes, retomadas e reinterpretadas, designadamente, a reinterpretação do *velo* albertiano (1538); a *finestra* leonardesca (1525); o aperfeiçoamento da *finestra* atribuído a Jacobus Keser (1538), assim como o perspetógrafo do próprio Dürer ‘o desenhador e o alaúde’ (1525) – “restando sempre iguais a si mesmas quando se corria em busca das origens.” (Xavier, 2005, p. 177).

Por outro lado, na busca fidedigna da realidade Filippo Brunelleschi pintou, em perspectiva, numa tela, a fachada da Igreja de *San Geovanni* em Florença. Posteriormente, abriu um buraco na zona onde ficaria posicionado o ponto de observação e apontou para um espelho como sugerido na figura 2.3. Este artefacto ficou também conhecido como vista estereoscópica de Brunelleschi, já que, esta técnica permitia obter informações do espaço tridimensional através da análise de duas imagens obtidas a partir de pontos distintos. Com este dispositivo Brunelleschi conseguiu demonstrar a noção da perspectiva, mantendo a proporção entre os objetos e o seu tamanho real.

Assim, ao posicionar-se no local onde a tela havia sido pintada e espreitando pelo buraco desta, ao mesmo tempo que era refletida no espelho, Brunelleschi conseguiu comparar o quanto a imagem desenhada se assemelhava à imagem real. Mais que isto, Brunelleschi conseguiu demonstrar que existia uma ligação direta entre a visão humana e a realidade projetada (Henry, 2012).

Deste modo, torna-se pertinente convocar aqui os contributos de Brunelleschi pela importância reconhecida à posição do observador, do objeto e do quadro na representação da realidade tridimensional.

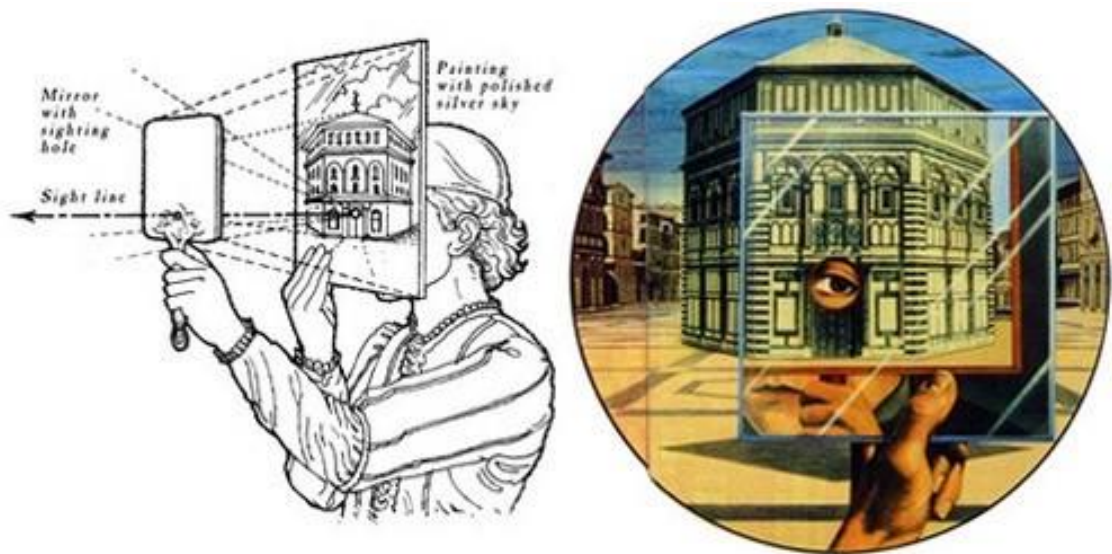


Figura 2.3 "Tavoletta" (Brunelleschi)³

Na época, a famosa demonstração do funcionamento da *tavoletta* frente ao Batistério de San Giovanni terá encantado de tal modo os presentes que despertou a sua curiosidade do mesmo modo que, atualmente, a RA fascina os utilizadores desta tecnologia que amplia e complementa a sua experiência do ambiente real, trazendo objetos ou novos itens, que são criados digitalmente e adaptados ao local observado. Esta experiência faz-nos querer que se tratou de uma das primeiras composições de Realidade Mista, já que foi possível combinar no ambiente real duas imagens reais para obter uma experiência virtual e efémera, na medida em que só era possível observar através daquele artefacto.

De igual modo, o grandioso fresco, que representa a glorificação de Santo Inácio e ocupa todo o teto da nave da Igreja de Santo Inácio, em Roma, pintado por Andrea Pozzo entre 1691 e 1694 (cf. Figura 2.4) remete-nos para uma virtualidade na perceção do espaço físico real. Verifica-se uma “tentativa de interligar e de fundir o espaço real interno com o espaço ilusório” (Trindade, 2015, p. 11).

³ Demonstração do funcionamento ótico da “tavoletta” de Filippo Brunelleschi. Museu Virtual em: http://historico.oepm.es/museovirtual/galerias_tematicas.php?tipo=INVENTOR&xml=Brunelleschi,%20Filippo.xml



Figura 2.4 Falsa cúpula – Igreja de Santo Inácio de Andrea Pozzo (Manuel Flores)

Assim, o teto construído sobre uma superfície curva é observado, segundo indicação do próprio Pozzo, a partir de um disco de mármore no centro da nave que marca o ponto ideal a partir do qual o observador pode apreciar de forma plena a ilusão. Este é único porque, ao tratar-se de uma projeção geométrica, de qualquer outro ponto, os pilares e arcos pintados parecem torcidos e suspensos (Balkemore, 1986). A intenção de Pozzo foi, através de uma ilusão de ótica, abrir a superfície da abóbada de berço servindo-se de técnicas de projeção que faz com que o observador posicionado corretamente no chão veja uma enorme e luxuosa cúpula aberta para o céu brilhante e repleta de figuras flutuando em direção ao alto.

Nesta obra de arte em falsa cúpula, de dimensões colossais, podemos observar, em constantes hesitações, a integração entre as representações ilusórias das colunas em “trompe-l’oeil” anamórfico com a própria arquitetura física da igreja que nos sugere uma Realidade Mista (Araújo, 2017a, 2020a). Esta virtualidade que depende da necessidade de ser observada a partir de um ponto específico e se materializa numa imagem estática, não requer qualquer equipamento de RV, mas garante uma experiência visual limpa, sem nenhum choque aparatoso de elementos reais e ilusórios. E quanto à experiência estética seria gentil, como sublinha Araújo (2017a), não a comparar com as realizações artísticas de

criações mais recentes, como as ilusões do jogo *Pokemon Go* ou as demonstrações topo de gama do *Microsoft HoloLens*.

2.2.1. Origem da representação anamórfica

O conceito de anamorfose é, em boa medida, devedor do trabalho dos artistas já referidos, no entanto, os curiosos efeitos da anamorfose terão sido, anteriormente, explorados e certamente compreendidos por Leonardo Da Vinci que revelou esta temática ao incluir nos seus cadernos *Codex Atlanticus* (1483-1518) desenhos anamórficos.

Trata-se de dois desenhos (distorcidos) representados em anamorfose oblíqua plana e que demonstram o interesse de Leonardo Da Vinci pelo estudo da perspetiva (cf. Figura 2.5).

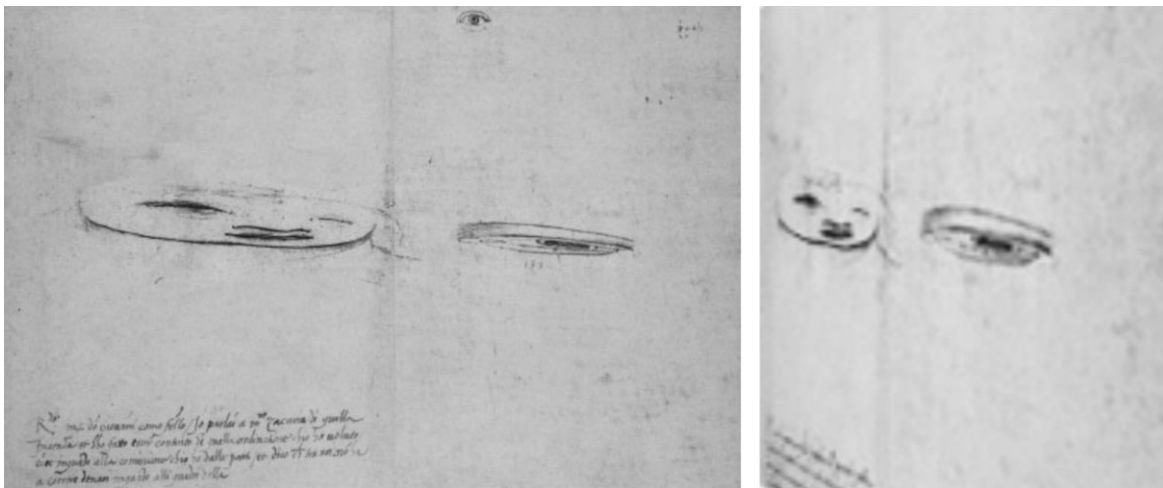


Figura 2.5 Desenho anamórfico – Face e olho (Leonardo Da Vinci)

Contudo, a primeira anamorfose construída através de um processo rigoroso deve-se a Piero della Francesca no seu primeiro tratado de perspetiva intitulado *De prospectiva pingendi* (1475) com o desenho aparentemente distorcido de um cálice (cf. Figura 2.6).

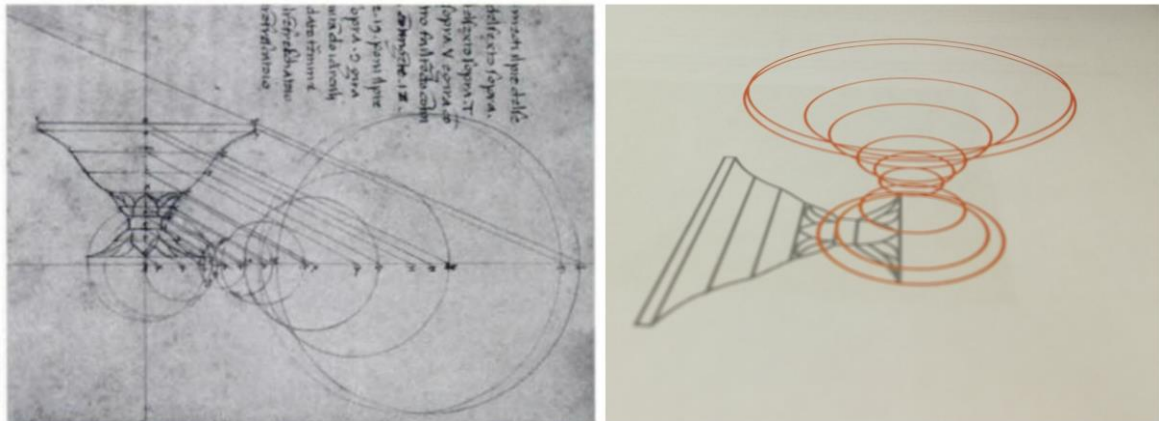


Figura 2.6 Projeção lateral de cálice num plano de Piero della Francesca (figura à direita Manuel Flores)

No entanto, provavelmente, o exemplo mais conhecido de anamorfose é o crânio humano representado por Hans Holbein o Jovem, na sua pintura “Os Embaixadores”, em 1533 (cf. Figura 2.7). Ao pintar uma caveira como símbolo de vaidade oculta numa anamorfose, o autor introduz uma mensagem filosófica na sua obra. Nesta obra, uma caveira é revelada quando observada sob um determinado ângulo, competindo com os demais elementos da composição o protagonismo do quadro. Entre as duas figuras retratadas e os elementos das artes e das ciências⁴ está o crânio aparentemente flutuante que nos recorda a nossa mortalidade sempre presente mesmo que não pensemos nela.



Figura 2.7 “The Ambassadors” (Hans Holbein O Jovem)⁵

⁴ No quadro, o embaixador francês de Henrique VIII, em Inglaterra, junto ao diplomático Geroges de Selve intencionalmente colocados ao lado de um conjunto de símbolos políticos e morais como o alaúde com a corda rebentada (representando a discórdia entre católicos e protestantes), o crucifixo quase impercetível na lateral, e os demais elementos relacionados com a aritmética, a geometria, a música e a astronomia (simbolizando as quatro ciências matemáticas do *Quadrivium*).

⁵ <https://ensinarhistoria.com.br/pintura-os-embaixadores-holbein/>

A obra “Os Embaixadores”⁶ é um quadro de grandes dimensões que integra a coleção da Galeria Nacional de Londres, mede 209cm x 207cm, pelo que podemos imaginar os personagens nela representados em verdadeira grandeza. Martín Casalderrey (2010, p. 70) sugere que este quadro terá sido concebido para um lugar específico que facilitasse a dupla contemplação. “Podemos suponer que fue pensado para ser colgado en el rellano de una escalera con dos tramos perpendiculares que confluyen en él. Así, quien subiese por el tramo inferior vería la calavera, mientras quien bajase del superior vería a los embajadores”. Portanto, ao subir as escadas o espectador ficava inquietado com a imagem que o induzia à reflexão e ao devaneio.

Ainda assim, o termo “anamorfose” foi inventado, 150 anos após o aparecimento desta técnica, pelo jesuíta Gaspar Schott em 1657, no tratado *Magia universalis naturae et artis*.

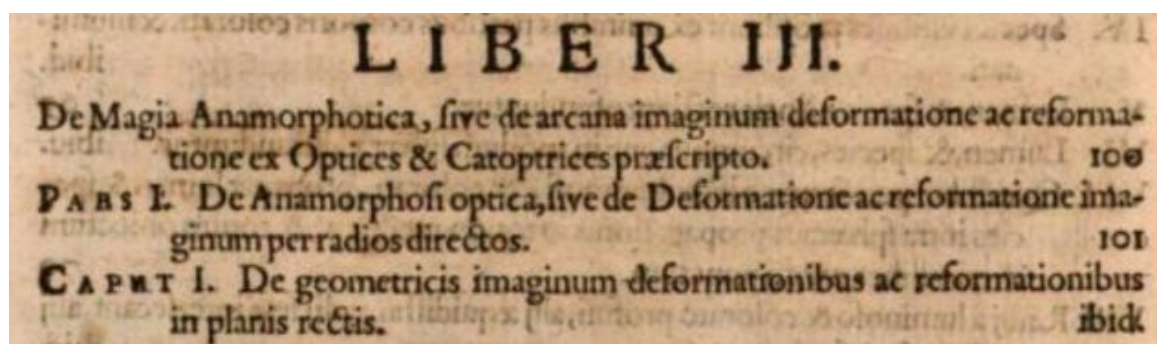


Figura 2.8 “Magia universalis natura et artis” (Gasparis Schotti)

Esta técnica de representação era, anteriormente, conhecida por vários nomes, como “*prospetiva inversa*” por Giovanni Paolo Lomazzo, que no seu tratado de 1584 sobre a pintura, ilustrou uma abordagem elaborada para a criação de desenhos anamórficos projetando uma imagem através de um sistema de grade, enquanto olha através de um olho mágico, e, ainda, por “*perspective curieuse*” por Jean-François Nicéron, matemático

⁶ Hans Holbein O Jovem, The Ambassadors, 1533, óleo sobre madeira de carvalho, 207 x 209.5, encontra-se na National gallery de Londres. <https://www.nationalgallery.org.uk/paintings/hans-holbein-the-younger-the-ambassadors>.

que publicou um tratado sobre ótica e perspectiva artificial, na qual explorou a elaboração geométrica de anamorfose.

Na prática, as anamorfozes são imagens que se apresentam normalmente distorcidas ao olhar de um observador quando contempladas frontalmente ou de vários ângulos, mas que, vistas a partir de um centro de projeção privilegiado, se reconstituem em perspectiva ou, dito de outra forma, se restabelecem consoante a deslocação do espectador (Trindade, 2013). Implica, portanto, que o observador participe ativamente no processo e assumo o desafio (des)confortável de trazer à imagem um novo significado. Nesta ordem de ideias, o espectador (re)constrói a imagem conferindo-lhe uma identidade reforçada e reafirmada tornando-se, deste modo, parte do objeto artístico. Assim, a anamorfose impele o espectador ao envolvimento consciente para se desligar, por momentos, da imagem global e identificar um ou vários elementos virtuais que persistem em conquistar o seu campo visual. Contudo, como sugere Collins (1992), estamos a transformar a nossa natural visão binocular numa “visão ciclópica”, na medida em que o efeito é maior com apenas um olho aberto. Este aspeto constitui também uma referência importante no nosso trabalho, na medida em que a utilização das câmaras fotográficas digitais, incorporadas nos smartphones, facilitam a compreensão deste fenómeno, já que funcionam como visão monocular.

Apesar da palavra anamorfose só aparecer no século XVII, a técnica já era bem conhecida e utilizada por artistas do norte da Itália desde o final do século XV, e artistas do norte da Europa desde o primeiro terço do século XVI. Segundo Pino Leon (2015) as primeiras anamorfozes a chegar à Península Ibérica serão da responsabilidade do imperador Carlos V provenientes da comitiva do novo governante, monarca de origem alemã. Segundo o mesmo autor, o rei parece ter adotado retratos anamórficos como parte de sua iconografia pessoal, sendo comum encontrar esse tipo de imagens associada à sua pessoa, embora também não seja raro em outras Cortes. Do primeiro lote de anamorfozes conservam-se pelo menos três exemplares em Espanha: um retrato anamórfico de Carlos V e outro de Isabel de Portugal em Valladolid, e mais um do próprio rei em Palência (Leon, 2015, p. 32).

2.2.2. Definição de anamorfose

Encontrar uma definição universal de anamorfose não é tarefa fácil uma vez que o termo é aplicado, com diferentes aceções, em diversas áreas desde a geometria, à ótica, à música, à geografia, à biologia, passando pela geologia, pelo *design*, pela arquitetura, pelo cinema e pela matemática. Focamo-nos aqui no contexto das artes visuais para uma reflexão sobre as potencialidades do mecanismo das anamorfozes e o seu contributo para a compreensão dos processos associados às novas tecnologias digitais, designadamente, a RV e RA.

As anamorfozes podem ser altamente subjetivas e simultaneamente a forma mais rigorosa de perspetiva geométrica. Como sugere Apollo Spiliotis (2008, p. 33) “They are derived from ‘precise mathematical and physical rules’, ones which govern two-dimensional representations of the three-dimensional environment. However, they are intentionally created in unorthodox ways to bend or even break common perceptions”.

Segundo Williams e Monteleone (2021, p. 88), o filósofo e matemático Daniele Barbaro (1513-1570) caracteriza a anamorfose “as ‘fine and secret’ that part of perspective concerning distorted delineations” em que, quando o olho do espectador não está colocado num determinado ponto (específico), o que aparece é algo diferente do que é retratado. No entanto, quando observado de seu ponto original, aparece o que foi realmente feito de acordo com a intenção do pintor.

Etimologicamente o termo anamorfose deriva do grego *ἀναμόρφωσις* (*anamòrfoſis*), que significa formado de novo, reformação, retorno da forma, reiteração da forma, reversão da forma. A definição apresentada no dicionário da Porto Editora⁷ remete-nos para um conceito, essencialmente, lúdico: “Fenómeno resultante de um sistema ótico deformador (espelho curvo, lente cilíndrica, etc.), que produz uma imagem distorcida ou irreconhecível da figura representada, de tal modo que a mesma só retoma a sua configuração verdadeira quando vista a partir de determinado ângulo ou através de lente ou espelho adequado”. Esta definição não está muito afastada da que encontramos no *Oxford English Dictionary*,

⁷ Porto Editora – anamorfose no Dicionário infopédia da Língua Portuguesa [em linha]. Porto: Porto Editora. Disponível em <https://www.infopedia.pt/dicionarios/lingua-portuguesa/anamorfose>

onde a anamorfose aparece definida como “a distorted projection or drawing which appears normal when viewed from a particular point or with a suitable mirror or lens”⁸.

Segundo Jurgis Baltrušaitis (1984, p. 7), a anamorfose é uma técnica de deformação de imagens que quando observadas de um ponto de vista aleatório não apresentam semelhança com a realidade. No entanto, quando analisadas de um ponto de vista distinto, tornam-se reconhecíveis. Este autor considera as anamorfozes como “jogos de ilusão ótica perversos” designando estas perspectivas que distorcem as imagens como “perspetivas depravadas” (Baltrušaitis, 1984, p. 7).

Para António Trindade (2015, p. 85), as anamorfozes são “imagens que se apresentam distorcidas ou mesmo dilatadas ao olhar de um observador, mas que são passíveis de se restituírem através de um ponto de vista rigidamente determinado, como que ‘imagens destruídas’ que se restabelecem consoante a mobilização do espectador, fruidor, para um lugar privilegiado de observação. São, portanto, imagens evasivas que implicam um retorno”.

Por outro lado, João Pedro Xavier (2005, p. 19) enquadra as anamorfozes como “configurações projetivas periféricas no campo de visão, cuja leitura visual requer a aproximação a um ponto de vista específico (o chamado ponto legítimo, posição do centro de projecção) ou um esforço interpretativo que transcende a simples visualização da imagem”.

Assim, o termo anamorfose é frequentemente usado como sinónimo de distorção, característica associada também ao estudo da perspetiva, mas que resulta num produto indesejado. No entanto, como sugere Veltman (1986), no caso da anamorfose essa distorção possui uma intenção consciente, e um propósito concreto.

Ao nível do currículo escolar, o conceito de anamorfose está incluído nas orientações programáticas da disciplina de Educação Visual, e aparece associado ao tema das Ilusões de Ótica. Contudo, o conceito de anamorfose é frequentemente tratado nos manuais

⁸ <https://www.lexico.com/en/definition/anamorphosis>

escolares de Educação Visual, do 3º ciclo de escolaridade, com pouca relevância, sendo remetido para uma definição redutora de “imagem deformada que utiliza uma grelha auxiliar distorcida. Muitos artistas utilizam este processo para ‘esconder’ imagens misteriosas nos seus quadros ou evidenciar o efeito da ilusão na pintura”.

Também Araújo (2017a) refere que o conceito de anamorfose não tem sido convenientemente tratado em alguns compêndios de perspetiva. O autor sustenta, ainda, que a anamorfose é o conceito matematicamente bem definido e prévio à construção da perspetiva, e não mero jogo visual corolário desta. Recentemente, Araújo (2017a; 2018a; 2020a) propõe uma definição de anamorfose como um conceito fundamental imersivo, associado à anamorfose esférica, com vista a uma síntese da definição matemática rigorosa, fundamental para a prática do desenho e de aplicações tecnológicas imersivas. Esta definição é a que melhor seve os propósitos desta investigação na medida em que associa o conceito de anamorfose ao estudo da perspetiva, e da sua aplicação aos processos de representação gráfica associados à RV e RA, conceitos que se incluem nos propósitos desta investigação.

2.2.3. Tipos de Anamorfose

Historicamente, a criação de anamorfozes⁹ foi desenvolvida em torno de dois tipos fundamentais: anamorfozes oblíquas e anamorfozes catóptricas. A anamorfose oblíqua usa a perspetiva para (re)criar imagens deformadas em superfícies oblíquas planas em relação ao eixo do cone visual do observador. Neste caso os procedimentos utilizados para obter as imagens projetadas possuem afinidades com as regras da *costruzione legittima*¹⁰ albertiana, onde “os próprios instrumentos utilizados para o maior rigor e exatidão das imagens perspéticas, como aquele que Dürer criara, podem também funcionar em sentido

⁹ Di Paola et al. (2014) sugerem que o fenómeno geométrico na anamorfose assume um lugar de destaque em amplos tratados sobre o estudo da perspetiva (Accolti 1625; Baltrušaitis 1969 e Gardner 1975).

¹⁰ Esta expressão historicamente associada a Filippo Brunelleschi e a Leon Battista Alberti, enquanto inventores da perspetiva, encerra a tentativa de procurar a representação mais correta da realidade observada, e está associada à *perspetiva artificialis* como veremos mais adiante neste trabalho.

inverso, produzindo estranhas figuras que, pelo contrário, vistas de determinado ponto, faziam todo o sentido” (Costa, 1992, p. 89). Como exemplo deste tipo de anamorfose convocamos, de novo, o quadro “Os embaixadores” de Hans Holbein, que, para visualizar e (re)formular a imagem anamorfisada, bastará inclinar o quadro em posição oblíqua, evitando que os raios do cone visual ficassem perpendiculares ao quadro. Por outro lado, a anamorfose catóptrica seguindo também alguns princípios da perspectiva original são (re)construídas por intermédio de superfícies espelhadas, como seria o caso das anamorfozes cónicas e cilíndricas. Neste caso a imagem deformada depende das leis da física relativas aos ângulos de incidência de reflexão. Trata-se de um procedimento de projeção que consiste na deformação de uma figura num plano e a sua reconstituição num sólido refletor.

Esta técnica tem subjacente vários conceitos matemáticos, como sistemas de coordenadas, geometria plana e espacial, vetores, projeção, funções e trigonometria. Um dos protagonistas mais interessantes desta complexa conjuntura é o matemático e teólogo francês Jean François Nicéron, que se dedicou desde muito cedo ao estudo da perspectiva e aos fenómenos de ótica a ela associados. Em 1638, escreveu um livro inovador para arquitetos e artistas – “*La Perspective Curieuse*” – onde descreve os procedimentos matemáticos para obter desenhos e pinturas em perspectiva, anamorfismo catóptrico (com espelhos cilíndricos e cónicos) e anamorfismo dióptrico através da refração em cristais.

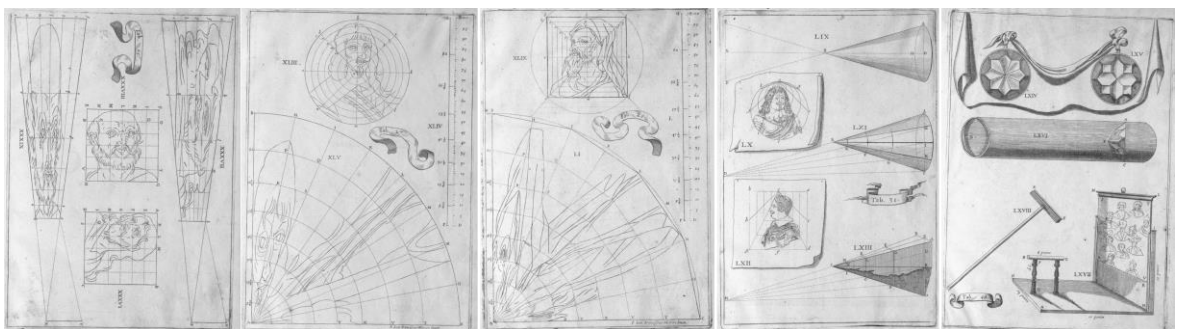


Figura 2.9 Aplicações práticas da perspectiva, catóptrica e dióptrica (Nicéron)

O telescópio refrativo na ilustração acima, mais à direita, usava uma lente poliédrica constituída por cristais e tinha como objetivo recompor um conjunto de oito figuras numa única imagem, por meio da refração da luz. Estes trabalhos ilustram três tipos tradicionais

de anamorfose: anamorfose ótica (a imagem é reconhecível apenas quando observada a olho nu de um determinado ponto de vista), anamorfose catóptrica (a imagem aparece corretamente quando refletida num espelho) e ainda a anamorfose dióptrica (a imagem é reconhecível quando vista através de uma lente) (cf. Figura 2.9).

Seguindo propósitos arquitetônicos Xavier (1995) propõe uma classificação das anamorfozes de acordo com o formato da(s) superfície(s) sobre a(s) qual(ais) a imagem é projetada e procede à sua enumeração de acordo com a sua emergência: anamorfose oblíqua (a imagem é projetada num plano oblíquo, fortemente inclinado em relação ao plano de projeção), anamorfose por projeção em superfícies diferenciadas (as superfícies podem ser pirâmides, cones, cilindros, esferas, etc...), anamorfose catóptrica - cilíndrica, cônica, piramidal, esférica... (a imagem geralmente é projetada num plano, embora seja mediada pela interposição de um espelho cilíndrico, cônico, piramidal, esférico ou outro) e, ainda, anamorfose por desconstrução espacial (a imagem anamorfisada fragmenta-se em vários planos e/ou elementos tridimensionais, dispersos no espaço). Neste caso, quando observada do centro de projeção, uma imagem correspondente a um espaço ou objeto uniforme (bidimensional ou tridimensional) é claramente identificável. O autor sugere que este último tipo de anamorfose, relacionado com intervenções em paisagens e jardins, é o que mais potencia uma intervenção espacial, desde que devidamente acutelada a interação entre a imagem escolhida e o espaço de implementação (Xavier, Sousa & Castro, 2019).

2.3 Interesse pela anamorfose na atualidade

A anamorfose possui potencialidades técnicas desconcertantes, mas, na sua essência, traduz uma definição e conceptualização teórica associada à comunicação visual. Como vimos, anteriormente, ao longo dos tempos o conceito de anamorfose sofreu uma evolução à medida que recebia maior ou menor protagonismo artístico.

Atualmente, estas imagens anamórficas que nos causam surpresa, precisamente pelo jogo lúdico da dinâmica do espectador, continuam a despertar interesse nas artes plásticas,

designadamente, por alguns artistas emergentes, sobretudo, na publicidade e na *street art* com os *new anamorphic graffiti artworks*. Esta prática que exemplifica a ideia de tridimensionalidade num jogo inquietante e lúdico é relevante na medida em que integra potencialidades interessantes, nomeadamente, ao nível da motivação dos alunos, para estudo da perspetiva.

Na arte contemporânea podemos encontrar um conjunto diversificado de trabalhos que exploram os princípios básicos da anamorfose, como é o caso das representações anamórficas na publicidade, em intervenções urbanísticas, no *design*, nas instalações desportivas, na construção de cenários e também na sinalização rodoviária.

Os artistas contemporâneos procuram envolver as pessoas de forma ativa no espaço intervencionado com a sua obra, forçando o espectador a um questionamento sobre um espaço surpreendente, estranho e/ou mágico.

Bernard Pras

Bernard Pras¹¹ é um artista plástico francês que estudou na Escola de Belas Artes de Poitiers, onde descobriu a arte pela anamorfose, realizando instalações com recurso à montagem de objetos heterogéneos. Ao longo dos anos, desenvolveu uma técnica muito pessoal, inspirada no célebre pintor Giuseppe Arcimboldo (1526-1593), mas que vai além deste ao acrescentar à sua obra uma dimensão espacial e volumétrica baseada na anamorfose. Este método consiste em reproduzir retratos de personalidades ou mesmo grandes obras clássicas de mestres, visíveis apenas de um determinado ângulo de visão (cf. Figura 2.10).

¹¹ <https://bernardpras.fr/>



Figura 2.10 Portrait De Dali (Bernard Pras)

Estes efeitos especiais assumem a forma de anamorfose, que só pode ser apreciada na íntegra face à obra, ou, na sua falta, com uma fotografia tirada em ângulo certo. Ele agrega composições de diversos objetos (embalagens plásticas, tecidos, peluches, bolsas, instrumentos musicais, e materiais descartados em geral) produzindo criações artísticas que parecem caóticas a menos que sejam observadas a partir da perspectiva correta.

Felice Varini

Felice Varini é um artista suíço¹² que utiliza espaços arquitetónicos para criar ilusões de ótica com as suas pinturas anamórficas. Trata-se de desenhos que se formam como se fossem objetos tridimensionais, mas que, na verdade, é uma composição criada com formas geométricas projetadas nos espaços arquitetónicos. As formas (des)constróem-se graças ao papel ativo do espectador, que, ao movimentar-se pelo espaço, testemunha sua mutação das mesmas e multiplica a sua perceção estética. Deste modo, estes trabalhos são altamente alterados pela perceção do espaço, do movimento e do tempo, assim como do entendimento individual do espectador (cf. Figura 2.11).

¹² <http://www.varini.org/>



Figura 2.11 Vermelho, amarelo e azul entre círculos e trapézios¹³ (Felice Varini)

Podemos sugerir que as pinturas de Varini são uma variação da anamorfose encontrada em algumas obras do Renascimento, já que as suas obras se adaptam e incorporam a arquitetura de tal forma que, da mesma maneira que ocorre com a escultura, o espectador tem de movimentar-se para as apreciar em todas as dimensões. Como sugere Ferreira (2016), o artista interpreta o espaço e serve-se da técnica da anamorfose para colocar o espectador como participante ativo na receção daquelas obras, sugerindo ao mesmo tempo, a *invasão do espaço* do observador através daqueles elementos geométricos.

Segundo Varini (2013), nas suas obras, o ponto de vista específico é importante, já que a pintura atinge todo seu potencial quando o observador se posiciona no espaço privilegiado. Contudo, ao sair desse ponto a obra gera infinitos pontos de observação onde se realiza a plenitude da sua obra. Dito de outro modo, a sua obra acontece no conjunto de pontos de vista que o observador pode ter sobre ela.

Joseph Egan & Hunter Thompson

Joseph Egan¹⁴ e Hunter Thompson, estudantes de Desenho Gráfico e Comunicação no *Chelsea College of Art & Design* em Londres desenvolveram um projeto académico¹⁵ enquadrado na temática da possível relação existente entre o design gráfico e a

¹³ Exposição pessoal de Felice Varini, Paris, 2015.

¹⁴ <https://www.behance.net/josephegan/projects>

¹⁵ <https://oozandoz.wordpress.com/2011/06/16/deception-its-all-in-your-point-of-view/>

arquitetura, influenciados pelo processo de anamorfose utilizado pelo artista plástico Felice Varini (cf. Figura 2.12).



Figura 2.12 “Anamorphic Typography” (Joseph Egan e Hunter Thompson)

Esta instalação, composta por duas anamorfoses, “it’s more than just print” e “It’s a point of view” encerra uma reflexão conceptual sobre a natureza subjetiva do bom *design*. Segundo os autores desta instalação, a primeira fase constitui um desafio para mudar a ideia convencional de que o design gráfico apenas pode ser realizado em duas dimensões. A segunda frase é um comentário sobre o processo da anamorfose em que o design só se torna planamente legível quando observado de um ponto de vista específico. Este trabalho convida o espectador a usufruir de uma experiência imersiva uma vez que lhe permite percorrer o espaço de implantação da obra (re)considerando que a relação com a tipografia se faz, usualmente, de uma forma bidimensional, seja ela impressa ou computadorizada. Deste modo, o espectador poderá apreciar fiscalmente a Tipografia Anamórfica pintada nas paredes do edifício e relaciona-a com o contexto em que se insere, evidenciando as formas arquitetónicas.

Georges Rousse

Georges Rousse é um artista contemporâneo reconhecido pelas suas inovações estéticas relacionadas com a fotografia arquitetónica e o seu trabalho com aplicação de anamorfoses¹⁶. Num exercício hábil entre o espaço real (o lugar onde ele expõe) e o espaço fictício que imagina e modela (com a pintura e a arquitetura) o artista transporta-nos para uma nova dimensão que reproduz através da fotografia. A sua inspiração advém da *Land Art* e também de Malevich, designadamente, o seu “*Quadro preto sobre fundo branco*” de 1918, que procura combinar de modo a incorporar a pintura no espaço de uma forma inédita e radical.



Figura 2.13 Pintura anamórfica (Georges Rousse)

O artista atua sobretudo em espaços abandonados criando obras de arte efêmeras e únicas, transformando esses locais em espaços pictóricos que são visíveis apenas nas suas fotografias. O espaço é o seu suporte, onde explora a qualidade arquitetónica e a luz para organizar e encenar as suas criações artísticas, com o objetivo final de as fotografar. É a partir da objetiva da sua máquina que ele constrói nesses *Lugares do Vazio*, uma obra utópica, projetando ali sua visão de mundo, o seu “universo” mental, cruzando preocupações plásticas com a ressonância do lugar, a sua história e a cultura do país onde intervém. No aspeto pictórico, Rousse utiliza cores vivas em contraste com a frieza da estrutura arquitetónica para revelar as formas geométricas que se destacam do fundo.

¹⁶ <https://www.georgesrousse.com/archives/article/anamorphoses/>

Como que flutuando no primeiro plano, estas composições convidam o espectador a olhar para além do engano, da ilusão, e deslizar para os detalhes das linhas arquitetónicas originais (cf. Figura 2.13).

Boamistura

Boamistura é um conjunto de artistas radicados em Madrid que decoram espaços públicos em vários cantos do mundo com figuras criativas¹⁷. As suas origens estão no *graffiti*, na pintura mural, no *design* gráfico e ilustração. Deste grupo fazem parte o arquiteto Javier Serrano, o desenhador Pablo Ferreiro, o ilustrador Pablo Purón e ainda Juan Jaime licenciado em *Bellas Artes*. O termo que adotaram em 2002 encerra a diversidade de formações e pontos de vista de cada um dos elementos do grupo.

A sua obra desenvolve-se em espaço público e está fortemente carregada de significado social o que lhe confere uma referência incontornável na arte urbana. Utilizam os seus murais que constroem com recurso a técnicas de anamorfose para alterar a paisagem das comunidades que visitam.



Figura 2.14 CULTURA / SVEGLIA / POPOLO (Boamistura)

Esta obra foi realizada no interior do Museu Nacional de Arte do séc XXI, MAZZI, no contexto da exposição coletiva “La Strada. Dove si crea il mondo” comissariada por Hanru Hou, que decorreu de 7 de dezembro de 2018 a 28 de abril de 2019, cuja temática girava em torno do espaço público a partir de diversas perspetivas artística e conceptuais. “Cultura, sveglia e popolo” (Cultura, acorda, gente) foram os conceitos chave a partir das

¹⁷ <https://www.boamistura.com/>

respostas dadas por residentes em Roma à pergunta “Se Roma inteira o ouvisse, que palavra gritarias?”.

eL Seed

De origem franco-tunisina, eL Seed é um artista que incorpora nas suas obras a caligrafia árabe tradicional com a arte de rua, num estilo que denominou “calligraffiti”. No seu trabalho, o artista reinterpreta a caligrafia árabe através de um *graffiti* moderno, que utiliza, fundamentalmente, para difundir mensagens de liberdade e de esperança. A Revolução Tunisiana de 2011 influenciou eL Seed a integrar o movimento de criativos que utiliza o poder da arte e da linguagem para provocar mudanças culturais e políticas.



Figura 2.15 “Perception” no bairro de Manshiyat Nasr, Cairo (eL Seed)

O seu estilo ímpar reside precisamente no modo como elabora as suas composições intrincadas de elementos de graffiti e caligrafia árabe e as utiliza para potenciar não só as palavras e o seu significado, mas também o movimento que as suas composições recriam e a resposta a um determinado local e contexto.

Em 2016, eL Seed decidiu transformar um dos bairros mais pobres do Cairo¹⁸ com a produção de um *graffiti* anamórfico de dimensões colossais e desafiar as noções preconcebidas de cultura e comunidade. A anamorfose sobre (des)construção espacial “Perception”, de eL Seed, cobre 50 edifícios no bairro de Manshiyat Nasr na cidade do Cairo (cf. Figura 2.15).

Esta complexa instalação foi realizada na comunidade de Zaraeeb, com a colaboração e participação ativa dos habitantes deste bairro – conhecidos por recolher o lixo na cidade e por desenvolver um sistema de reciclagem eficiente e lucrativo. Trata-se de um processo engenhoso e essencial para a cidade, no entanto, os habitantes deste bairro, designados por “dirty”, são marginalizados e menosprezados pela restante comunidade. A instalação em anamorfose projetada sobre as fachadas e telhados dos edifícios residenciais do bairro contém as palavras de Santo Atanásio, que dizia: “Alguém que queira ver a luz do sol precisa de limpar os olhos primeiro”.

Como em todas as anamorfozes, esta peça deverá ser observada na sua plenitude a partir de um ponto original, neste caso, o miradouro da Montanha Moqattam. O artista pretende, através do jogo de percepção ótica, enfatizar a ideia de que mudar de ponto de vista pode afetar muito o que o espectador observa.

Julian Beever

O britânico Julian Beever é um artista de rua conhecido por realizar um tipo de arte denominada “Chalk art” através da qual cria desenhos anamórficos nos passeios, utilizando giz, pastel seco e pigmento em pó. Na projeção dos seus trabalhos utiliza a técnica da

¹⁸ <https://elseed-art.com/projects/perception-cairo/>

anamorfose para criar a ilusão da tridimensionalidade, quando a imagem é observada a partir de um ponto de vista particular. Nesse ponto coloca uma câmara num tripé à qual recorre várias vezes para verificar o processo de construção do desenho. Na descrição da técnica, Julian Beever (2018, p. 14) refere que as alturas e as laterais são avaliadas e verificadas através da câmara, considerando que “a line or plane must after all be situated somewhere on a continuum between the vertical and horizontal”. Em caso de dúvida e nas formas projetadas em superfícies irregulares recorre também à utilização de uma corda.



Figura 2.16 “Make Povert History”, The Globe (Julian Beever)

Segundo o autor, este desenho foi realizado aquando da Cimeira do G8, em Edimburgo, a pedido dos organizadores da campanha Live 8, liderada por Bob Geldof e outras pop stars, com o objetivo de pressionar os delegados da cúpula do G8 num acordo mais favorável para o desenvolvimento dos países (cf. Figura 2.16).

Os espectadores questionam, frequentemente, o artista sobre a fórmula matemática ou programa de computador que utiliza para fazer com que os seus desenhos apareçam com a forma correta. Julian Beever garante que, neste trabalho, apenas usou uma bola de golf entre o indicador e o polegar na frente da câmara e em movimentos para a frente e para trás do desenho foi ajustando a corda fazendo-a corresponder com os limites da bola.

Em virtude dos materiais que utiliza, as suas obras assumem um carácter efémero. O artista preserva os seus trabalhos em fotografias, muitas vezes posicionado uma pessoa dentro da imagem como se estivesse a interagir com a cena.

Edgar Müller

Edgar Müller, nasceu em 1968, em Mülheim, na Alemanha, é também um dos artistas da *street art* mais conhecidos pelos seus trabalhos de ilusão 3D. O seu fascínio pela pintura começou muito cedo tendo-se dedicado sobretudo a este tipo de arte temporária onde desenvolveu a técnica de representação em anamorfose. A sua pintura destaca-se pelo toque de modernidade que imprime aos seus trabalhos explorando o jogo de perspetiva com a posição do espectador para criar o efeito 3D, através do qual consente um realismo inquietante as suas obras¹⁹. Através desta técnica²⁰, o artista transforma ruas pavimentadas em obras de arte efémeras onde usa minuciosas técnicas de pintura 3D, que, quando observadas de um ponto de vista específico, se destacam pela utilização rigorosa das cores, obtendo um detalhe surpreendente.

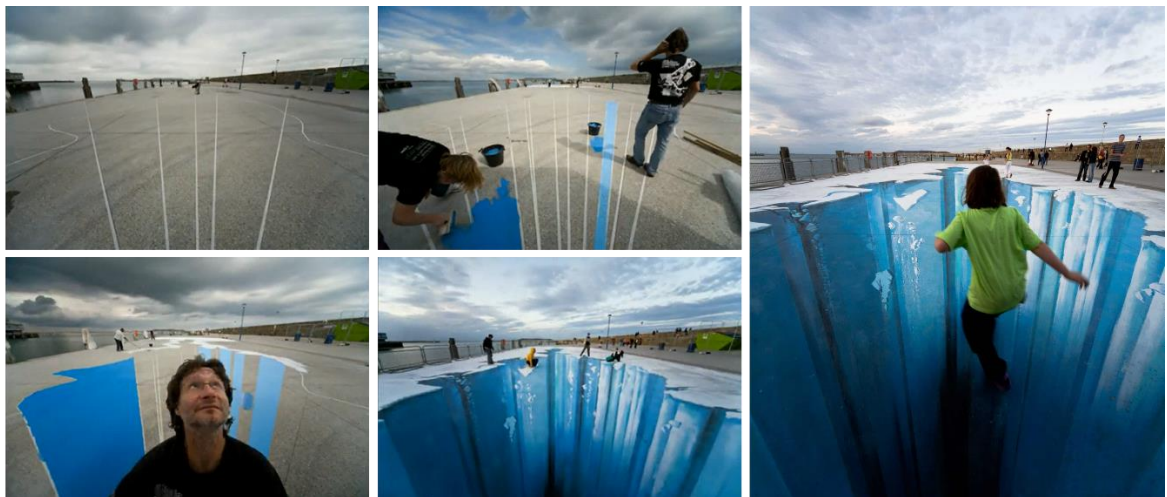


Figura 2.17 “The Crevasse”, Irlanda, 2008 (Edgar Müller)

The Crevasse é uma das inúmeras pinturas em ilusão anamórfica onde o artista habilmente utiliza uma superfície bidimensional e a transforma, criando a ilusão de que as figuras fazem parte da paisagem (cf. Figura 2.17). Esta incrível pintura, que se estende por 250 metros, foi executada no *Festival of World Culture*, em 2008, em *Dun Laoghaire*, na Irlanda. Representa uma fenda glacial e compreende, em nosso entender, conteúdo relacionado

¹⁹ <https://metanamorph.com/>

²⁰ O *making of* desta obra pode ser visto em: <https://www.youtube.com/watch?v=3SNYtd0Ayt0>

com questões políticas e sociais, ao mesmo tempo que desafia a atenção do público a assumir o ponto de vista rigorosamente definido para obter o efeito de (re)construção anamórfica. Contudo, a possibilidade de observador deambular pelo espaço permite-lhe também fazer parte da obra, integrando, deste modo, o cenário construído pela pintura. Neste sentido, Ferreira (2016, p. 163) sugere que o efeito visual desta pintura, provocado pelo realismo e pela noção de profundidade, cria a existência de um confronto entre afastamento e proximidade no observador, na medida em que “por um lado a imagem representada *invade* o espaço do observador, por outro lado também sugestiona a *evasão* desse mesmo espaço”.

Leon Keer

De origem Holandesa, mestre da ilusão de ótica, Leon Keer é um dos principais artistas do mundo na arte de rua anamórfica. O artista inspira-se no Surrealismo Pop e os seus trabalhos refletem preocupações ambientais, a desigualdade social e a habitabilidade do planeta²¹. Inspirado no Exército de Terracota de Qin Shi Huang, o primeiro imperador da China, o artista Leon Keer concebeu uma pintura 3D, usando modelos da Lego, que foi executada²² durante o *Chalk Festival Sarasota 2011*, na Flórida.

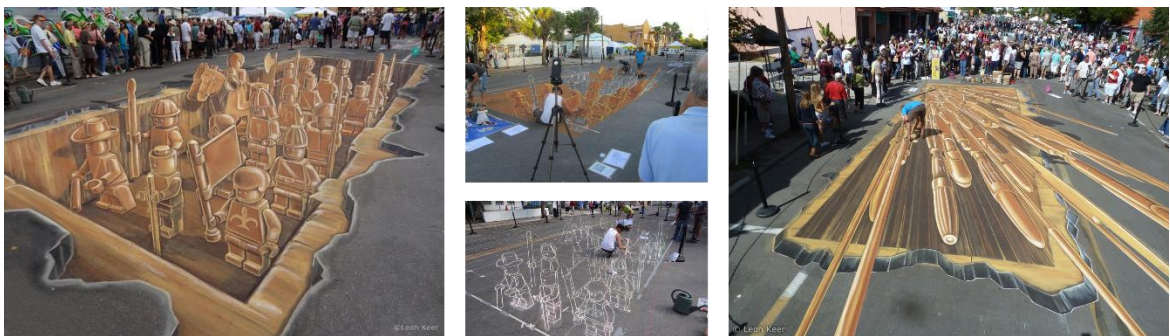


Figura 2.18 “3D Lego terracotta army” (Leon Keer) e (Alyssa Anda²³)

²¹ <https://www.leonkeer.com/>

²² A pintura anamórfica do 3D Lego Terracotta Army mede cerca de 100 metros quadrados e foi criada para apoiar o lançamento de Ego Leonard. Colaboraram também na execução deste trabalho Remko van Schaik, Ruben Poncia e Peter Westerink.

²³ <https://mymodernmet.com/terracotta-army-lego-street-mural/>

Enquanto artista, o que o distingue Leon Keer de outros artistas do *3D Street Art* é a integração com as tecnologias digitais, designadamente, a RA e o *Video Mapping*.



Figura 2.19 “3D mural at Staples Center come to life through augmented reality” (Leon Keer)

O efeito 3D conseguido através da técnica da anamorfose só é visível de um ponto de vista, no entanto, esta obra de arte convida o espectador a usar o seu *smartphone* e a interagir com a pintura. Através da App “Leon Keer”, disponível na *Play Store*, o espectador pode descobrir uma dimensão extra nesta obra e usufruir de uma experiência imersiva. A imagem impressa serve também como marcador, pelo que é possível, deste modo, iniciar a animação 3D (cf. Figura 2.19). Em Portugal, é possível contemplar uma das suas obras, o Mural “wish you were here”²⁴, pintado no *Sm’arte – Festival Street Art (2017)*, em Bragança.

Sérgio Odeith

Nascido na Damaia, em Portugal, Sérgio Odeith desde muito cedo manteve contacto com o *graffiti*, no entanto, a sua paixão pelo desenho levou-o a encontrar novos expedientes, a pintura de grandes dimensões em murais em diversos bairros pobres. Em 2015, iniciou uma nova faceta do seu trabalho ao desenvolver peças inovadoras com recurso à anamorfose, que lhe permitiu obter reconhecimento no panorama da *street art* internacional, criando composições com efeito 3D e ilusão de ótica.

²⁴ <https://www.streetpainting3d.com/mural-wish-you-where-here>

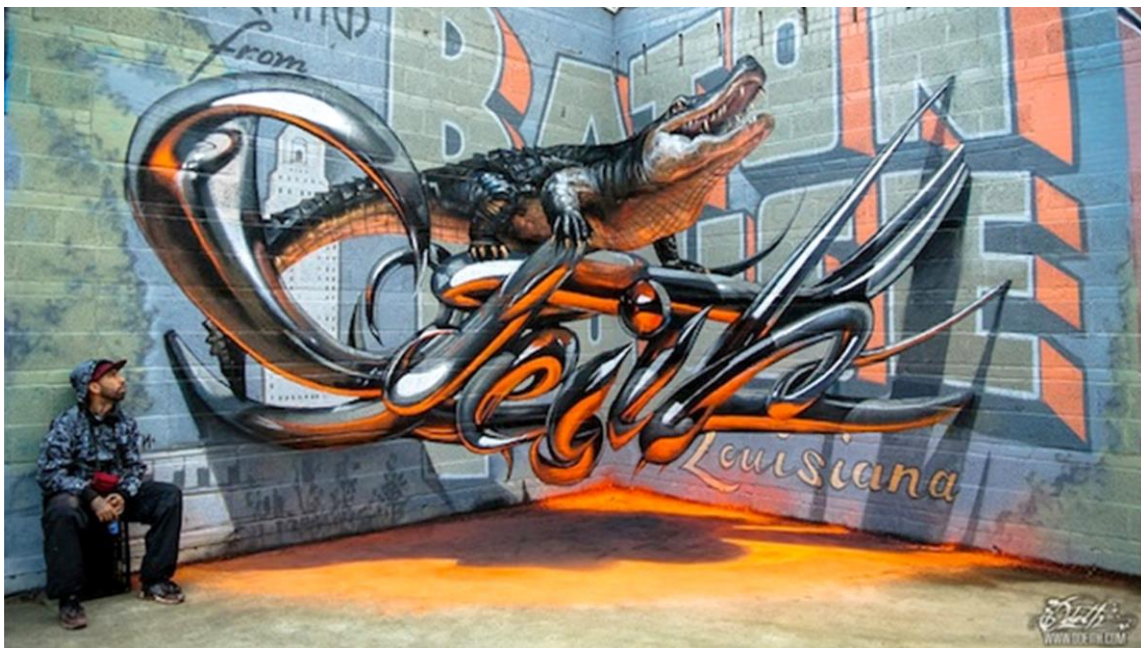


Figura 2.20 “Anamorphic Alligator”, Museum of Public Art (Sérgio Odeith)

Esta obra foi executada em Nova Orleães e faz parte da coleção *Museum of Public Art*²⁵, na Cidade de Luisiana (cf. Figura 2.20). O artista usa tinta de spray para criar ilusões 3D incrivelmente detalhadas, mas, apesar de divulgar imagens do seu trabalho em *time lapse*, mantém em segredo toda a sua técnica. A maior parte do seu trabalho é realizada com projeção em três planos perpendiculares. O artista criou um *dark style of anamorphosis* a que designou de “Somber 3D”, que se reflete na representação de insetos enormes e outros objetos pintados em espaços abandonados, que se destacam pela qualidade da técnica e pelo seu realismo²⁶.

João Pedro Xavier

João Pedro Xavier é arquiteto e professor catedrático da Faculdade de Arquitetura da Universidade do Porto (FAUP) e, tem dedicado a sua atividade académica²⁷ também à valorização das potencialidades pedagógicas e didáticas da anamorfose. Nesta temática

²⁵ <https://artsandculture.google.com/exhibit/museum-of-public-art/AQXvDbxw>

²⁶ <https://www.odeith.com/odeith-bio-cv/>

²⁷ É autor dos livros “Perspectiva, perspectiva acelerada e contraperspectiva” (FAUP Publicações, 1997) e “Sobre as origens da perspectiva em Portugal” (FAUP Publicações, 2006). Publicou diversos trabalhos e artigos sobre este tema em conferências e realizou, também, diversas ações de formação de professores.

um dos seus trabalhos mais emblemáticos é a anamorfose²⁸ (oblíqua plana) construída no Pavilhão de Portugal, em 2000 (cf. Figura 2.21).



Figura 2.21 Anamorfose Oblíqua Plana (João Pedro Xavier)

João Pedro Xavier sugere que as anamorfozes, ou perspetivas curiosas, são formas distorcidas e (quase) indecifráveis, de imagens, objetos ou espaços, que se refazem, ganham sentido e se descodificam, quando observadas/analizadas de um ponto de vista específico. Considera ainda que o fenómeno reproduzido pelas anamorfozes não se trata de magia, mas traduz uma operação matemática rigorosa que tem por base a geometria projetiva.

António Oriol Trindade

António Trindade é Professor Auxiliar de Geometria, Departamento de Desenho da Faculdade de Belas Artes da Universidade de Lisboa e desenvolveu, também, conhecimento sobre a temática das anamorfozes. Publicou um trabalho sobre a conceção da anamorfose, fazendo referência aos requisitos e técnicas para uma demonstração prática. Sugere três métodos possíveis para a construção de anamorfozes, a saber, o método geométrico; o método da reflectância sobre espelhos e poliedros e de curvatura variada; e o método com trabalho de equipa (utilizando fios esticados e/ou com projeção de sombras (Trindade 2013).

²⁸ <https://www.atractor.pt/matviva/geral/AO/AO.htm>

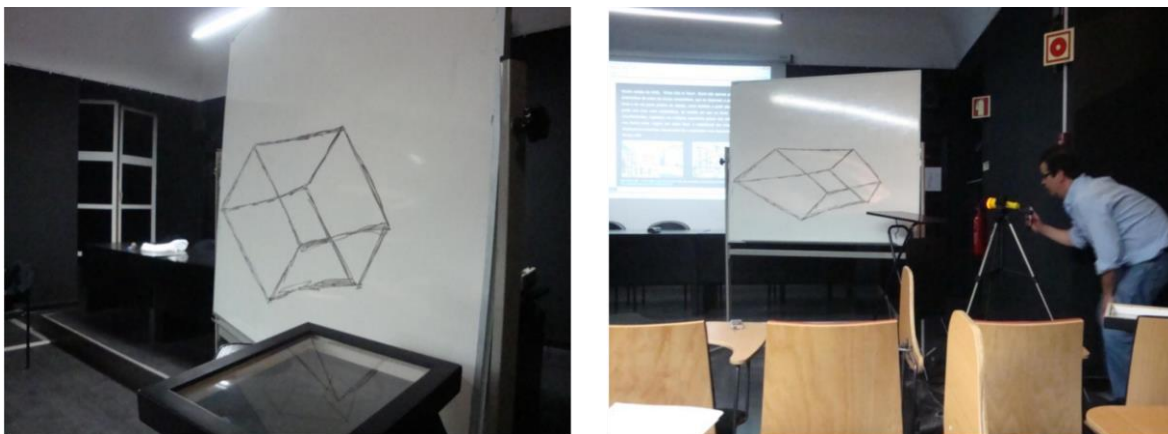


Figura 2.22 Anamorfose de um cubo pelo método do foco luminoso²⁹ (António Oriol Trindade)

Baseado na pirâmide visual da perspetiva clássica o autor concretiza a anamorfose de um cubo, previamente desenhado em perspetiva axonométrica, destacando a importância do centro de projeção a que chama “olho de príncipe” – posição do observador – onde coloca o foco luminoso (cf. Figura 2.22). Este autor sublinha que no estudo do trompe l’oeil e, mais ainda nas anamorfozes, a posição do espectador é uma condição fundamental na representação de imagens perspéticas para que se tornem legíveis ao olhar do espectador/fruidor da obra (Trindade, 2008).

António Araújo

António Araújo é Professor Auxiliar na Universidade Aberta, realizou o Doutoramento em Matemática (Geometria) e dedica, atualmente, a sua investigação na aplicação da geometria às Artes Visuais. Considera que o surgimento das imagens panorâmicas em Realidade Virtual fizeram renascer o interesse pelo desenho de perspetivas envolventes (imersivas). Desenvolveu métodos geométricos para desenhar perspetivas esféricas à mão usando régua e compasso (perspetivas equidistantes azimutais e perspetivas esféricas equirretangulares). A sua formação em Matemática e o interesse pelo *urban sketch* despertou-lhe o interesse pelos estudos de Brunelleschi e Alberti. Do seu extenso trabalho

²⁹ Fonte: Trindade, A.O. (2013). A concepção de uma Anamorfose, do séc. XVI ao séc. XX. Requisitos, técnicas e uma demonstração prática. In: A.P.F. Marques (coord.), *Atas do Congresso, AS IDADES DO DESENHO*. Lisboa, FBAUL, pp.85-102.

destacamos, pela pertinência, a instalação temporária sobre o estatuto especial da perspectiva linear como forma de representação plana, que é simultaneamente uma anamorfose.



Figura 2.23 Anamorfose de um cubo em três planos (António Araújo e M^a Aguiar)

Esta instalação (realizada em Óbidos) materializa o resultado da aplicação dos princípios da anamorfose que fica intrinsecamente definida através das superfícies de projeção, produzindo o efeito de ilusão de ótica. Araújo (2020a) sustenta que estas perspectivas planas encerram também a possibilidade de constatar que algumas linhas e configurações de múltiplos planos possam apresentar até dois pontos de fuga (cf. Figura 2.23).

Encont[RA]r 2019

Explorando a relação da Realidade Aumentada com um conceito clássico da geometria e do desenho constatamos que a anamorfose é o conceito basilar que fundamenta não só a perspectiva clássica mas os mais modernos sistemas de realidade virtual, mista e aumentada (Encont[RA]r 2019)³⁰. No âmbito deste encontro dinamizámos o *workshop* subordinado ao

³⁰ O Encontro Internacional de Tecnologia de Realidade Aumentada na Educação (Encont[RA]r 2019) constituiu um fórum de partilha e reflexão em torno da investigação, desenvolvimento e práticas no domínio das Tecnologias de Realidade Aumentada na Educação. Na segunda edição, investigadores, professores, profissionais de espaços educativos e de formação, gestores e produtores de recursos e conteúdos, partilharam um espaço de construção de experiências de aprendizagem com o recurso à utilização de tecnologia de Realidade Aumentada.

tema “Realidade Aumentada no Ensino das Artes Visuais” onde procurámos explorar a relação da Realidade Aumentada com um conceito clássico da geometria e do desenho - a Anamorfose. Defendemos que a anamorfose é o conceito basilar que fundamenta não só a perspetiva clássica, mas os mais modernos sistemas de realidade virtual, mista e aumentada. Através de uma generalização da máquina de perspetiva de Dürer construímos ilusões de ótica em anamorfose cónica (cf. Figura 2.24).



Figura 2.24 Anamorfose cónica (António Araújo e Manuel Flores)

Esta atividade, dirigida sobretudo a professores de Educação Visual, de Geometria Descritiva e de Desenho, permitiu relacionar esta temática com o ensino da perspetiva linear e com construções em Geometria Descritiva (GD). Utilizámos construções de GD para criar anamorfozes com pontos de observação controlados que podem ser visualizadas com a ajuda da camara de um *smartphone*. Neste encontro, António Araújo demonstrou, ainda, como generalizar estas construções para desenhar anamorfozes sobre superfícies curvas, como cilindros, e, deste modo, obter anamorfozes imersivas e perspetivas esféricas (António, 2018a; 2020a) que podem ser desenhadas "à mão" (com régua, compasso e transferidor) – e visualizadas de forma imersiva através do *software* de panoramas RV disponível gratuitamente nas redes sociais.

Tiago Azevedo

Tiago Azevedo (2017) realizou várias experiências práticas de anamorfozes, no âmbito da sua dissertação de mestrado em Arquitetura, pela Faculdade de Arquitetura de

Universidade do Porto. Motivado pela pesquisa teórica sobre as anamorfoses e ciente de que a experiência virtual se tornaria redutora em termos multissensoriais, concretizou uma série de anamorfoses com o objetivo de testar os efeitos das ilusões de ótica.



Figura 2.25 Anamorfose Elipse, Noite Branca de Braga (Tiago Azevedo)

No âmbito dos festivais de teatro e artes urbanas (Festival *Imaginários*, de Santa Maria da Feira e Noite Branca de Braga) desenvolveu e concretizou propostas de intervenção em espaço público, que resultaram em instalações artísticas. Destacamos aqui a intervenção realizada em Braga “Anamorfose Elipse” por razões estéticas e afetivas, uma vez que também tivemos a oportunidade de vivenciar esta experiência estética (cf. Figura 2.25).

A partir da simulação digital o autor seguiu o método da projeção da imagem com recurso a um projetor multimédia, com decalque e preenchimento com fita cola. Apesar das consideráveis dimensões, no processo de ampliação da imagem, o autor procurou estabelecer uma relação direta com a dimensão humana para potenciar a interatividade, aumentando as possibilidades para uma experiência artística imersiva.

Experiências Didáticas em Digital

Como referimos anteriormente, alguns artistas utilizam procedimentos mais ou menos artesanais para obter os efeitos anamórficos desejados nas suas construções. Assim, a

magnificência do aparato técnico pode ser mais ou menos sofisticado recorrendo a apontamentos manuais, fios de corda, projetor de luz ou simulações digitais que servem o propósito final de projetar as imagens (estruturadas e delimitadas) em superfícies, posteriormente pinadas e/ou adesivadas. A utilização de ferramentas analógicas por parte de alguns artistas remete-nos para a importância de revisitar as origens – numa perspectiva *back to basic* – da construção da anamorfose. Estas técnicas encerram potencialidades pedagógicas capazes de transformar os métodos de ensino da perspectiva, no 3º ciclo do ensino básico, em experiências pedagógicas inovadoras.

No entanto, atualmente existem ferramentas digitais que permitem a definição de parâmetros matemáticos que simulam tais representações e que, em boa medida, têm contribuído para a compreensão das técnicas de projeção anamórfica e as suas potencialidades em processos criativos. Várias experiências didáticas de modelação 3D digital³¹ têm sido divulgadas no âmbito da geometria projetiva que apontam para o potencial das ferramentas digitais no desenvolvimento de projetos de arquitetura e no ensino da geometria (Xavier et al., 2019).

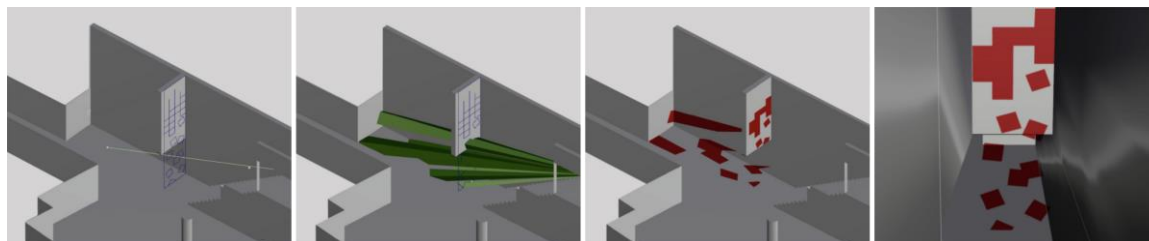


Figura 2.26 “Tiles” (César Silva, Cristiano Alves, Diogo Barbosa e João Naia)³²

O estudo revela que a utilização das ferramentas digitais no ensino de geometria permite, não só, aumentar a quantidade de temas a tratar e ultrapassar algumas dificuldades de execução prática, mas também aumentar de forma significativa a capacidade de visualização e o raciocínio espacial.

³¹ Referimo-nos também às experiências de anamorfose, em espaço digital, enquanto processo criativo na Arquitetura, Artes e Design realizadas por Brod et al. (2010).

³² Experiência didática realizada no edifício da Faculdade de Arquitetura, no âmbito do curso de Geometria e Arquitetura, modelado através do *software* Rhinoceros.

2.4 Outras aplicações da anamorfose

Como já verificámos, a sobreposição de uma instalação anamórfica no espaço físico amplifica as características naturais não só da imagem transformada como também da imagem percebida. Em muitos casos, o espaço público enquanto espaço tridimensional real, constitui o pano de fundo e, simultaneamente, a inspiração para a criação de mensagens mais complexas e sugestivas. Assim, o espaço onde a obra de arte se instala não é apenas o suporte físico, mas também a inspiração para as criações visuais. Em muitos casos, a anamorfose constituiu também um estímulo para uma fruição mais complexa e profunda do espaço, onde o elemento surpresa não é o único efeito desejado, gerando uma curiosidade intensa que oferece um novo olhar sobre espaço físico. Assim, de entre as diversas formas de arte baseadas na percepção, a anamorfose, enquanto técnica geométrica utilizada para criar a ilusão visual, pode ser considerada uma ferramenta conveniente para relacionar o ato da percepção com a utilização de um determinado local, enquanto espaço de vivência e de interação.

2.4.1 Projeto de Axel Peemöller para a sinalização de um estacionamento

Como já referimos anteriormente, a anamorfose é utilizada na área do *design* com propósitos comunicativos. O *design* gráfico tem uma especificidade que envolve várias áreas da comunicação visual com a finalidade de identificar, informar, orientar e ambientar os utilizadores de um determinado espaço. O projeto de sinalização³³ da Axel Peemöller foi desenvolvido para a *Eureka Tower Carpark*, em Melbourne, em 2006. A sinalética neste parque de estacionamento vertical não são placas, mas palavras que estão pintadas anamórficamente no chão e nas paredes da garagem (cf. Figura 2.27).

³³ <http://axelpeemoeller.com/eureka-tower-carpark/>

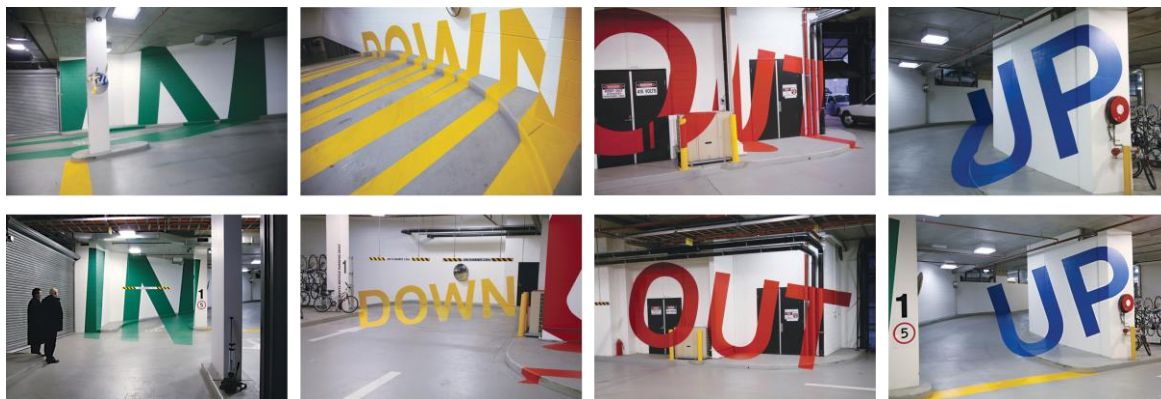


Figura 2.27 Projeto de sinalização na Eureka Tower Carpark, em Melbourne (Axel Peemöller)

Este projeto é constituído por uma série de ilusões de letras anamórficas projetadas pelo artista alemão Axel Peemöller, sendo que essas estruturas tipográficas em grande escala só se tornam legíveis perfeitamente quando vistas de um ponto de vista específico. Estas instalações anamórficas podem constituir instrumentos para alargar os mecanismos de percepção do espaço. Elas induzem o observador a reconsiderar a sua posição habitual, assumindo uma atitude mais consciente e participativa, para uma melhor compreensão do espaço. Este projeto representa, portanto, um bom exemplo de que a anamorfose pode ser usada num contexto de design funcional.

Também a agência parisiense Grapheine apresentou, durante a consulta para o "Desenho de uma área de comunicação" do Terminal 3 do aeroporto Lyon St-Exupéry, um projeto de sinalização utilizando os princípios da arte cinética e ótica. As diferentes etapas da viagem são identificadas através de imensas anamorfozes, alterando noções de tempo e espaço e acentuando a sensação de velocidade³⁴.

No estádio AXA, em Braga, também podem ser observadas anamorfozes nas superfícies de betão que permite aos espectadores disfrutar de estímulos visuais que os conduzem pelas galerias de entrada e saída do estádio (cf. Figura 2.28).

³⁴ <https://etapes.com/projet-de-signaletique-pour-laeroport-de-lyon/>



Figura 2.28 *Stadium Signage* 2004, Estádio AXA (António Queirós)³⁵

2.4.2 No trânsito (passadeira para peões)

As passadeiras tridimensionais têm surgido, de um modo mais ou menos legal, em dispersos pontos do globo (Índia, Tailândia, Austrália, Islândia, Dinamarca, Rússia, China, EUA³⁶). Em Aarhus, a segunda maior cidade dinamarquesa, as autoridades decidiram experimentar as chamadas "passadeiras 3D". O objetivo é convencer automobilistas e ciclistas a abrandar e tornar as travessias de peões mais seguras. Recentemente, vários meios de comunicação social divulgaram, por exemplo, a implementação de passadeiras 3D na cidade islandesa de Ísafjörður³⁷, com o objetivo de reduzir a velocidade rodoviária e evitar acidentes e as desajeitadas passadeiras com lombas³⁸. A ideia surgiu de Ralf Trylla, responsável ambiental do concelho, tendo em conta o elevado número de condutores que conduz a mais de 30 quilómetros por hora nas ruas estreitas da cidade. Ao jornal espanhol *El País*, o responsável por pintar a passadeira, Gautur Ivar Halldorssone, esclarece que “o efeito ótico apenas funciona de um certo ângulo e durante uns segundos”, pelo que não obrigará o condutor a travar abruptamente (cf. Figura 2.29).

³⁵ Intervenção gráfica da autoria do Atelier António Queirós Design.

<https://www.behance.net/gallery/3637057/Eduardo-Souto-Moura-Braga-Stadium-Signage-2004>

³⁶ <https://observador.pt/2017/09/27/islandeses-pintam-passadeira-3d-para-diminuir-a-velocidade-automovel/>

³⁷ <https://icelandmag.is/article/photos-video-3d-crosswalk-isafjordur-helps-slow-down-speeding-motorists>

³⁸ <http://www.rtp.pt/noticias/tecnologia> (28 Set, 2017)



Figura 2.29 Passadeira 3D em Ísafjörður, Islândia

A passadeira que se vê na imagem parece ser feita de traves suspensas, mas tal não passa de uma ilusão de ótica. Sombras angulares foram desenhadas nos retângulos brancos que parecem pairar alguns centímetros acima do solo. O efeito ótico que a pintura destas passadeiras causa nos condutores faz com que estes reduzam significativamente a sua velocidade, perante a ilusão de ver barras a flutuar sobre o asfalto.

Em Portugal também foram testadas, em várias localidades³⁹, as passadeiras com efeito tridimensional, faltando, no entanto, estudos para avaliar o impacto desta medida que usa, basicamente, o conceito de anamorfose.

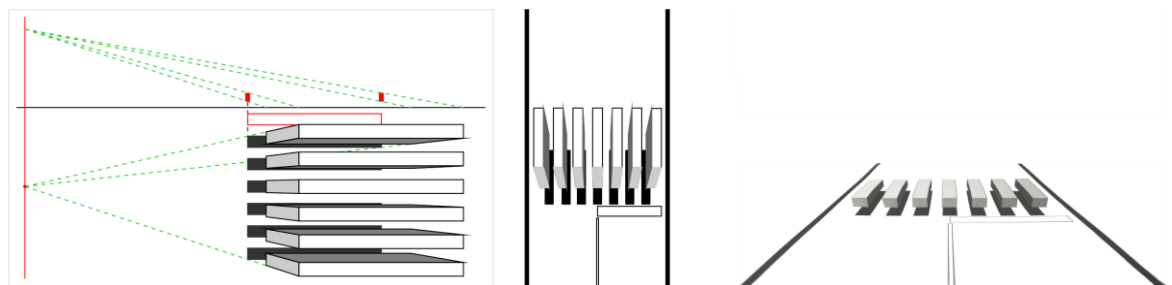


Figura 2.30 Projeção ortográfica de uma passadeira (Manuel Flores)

Na figura anterior ilustramos o processo de construção de uma passadeira através de uma projeção ortográfica. Como em qualquer anamorfose é importante identificar o ponto exato onde deverá ser posicionado o observador para que a imagem anamórfica seja reformada, isto é, assuma o aspeto tridimensional desejado. Com algumas reservas o efeito da passadeira em anamorfose assemelha-se ao aspeto de uma aplicação de Realidade

³⁹ Maia (41°13'42.38"N 8°34'35.87"O), Lisboa (38°46'04.86"N 9°10'28.52"O), Vieira do Minho (41°38'00.96"N 8°08'23.47"O)

Aumentada. O resultado da anamorfose não é muito convincente já que a leitura correta depende da velocidade do automóvel, para não falar do facto de que o condutor usa a visão binocular, o que não facilita a correta visão da passadeira como explicaremos mais adiante neste trabalho.

A figura seguinte mostra o aspeto de uma aplicação de Realidade Aumentada que criámos para utilização num automóvel e que utilizava a passadeira pintada no chão como marcador que fazia disparar a imagem virtual da passadeira. Tentámos também o disparo da imagem virtual da passadeira em Realidade Aumentada através de posicionamento por GPS.

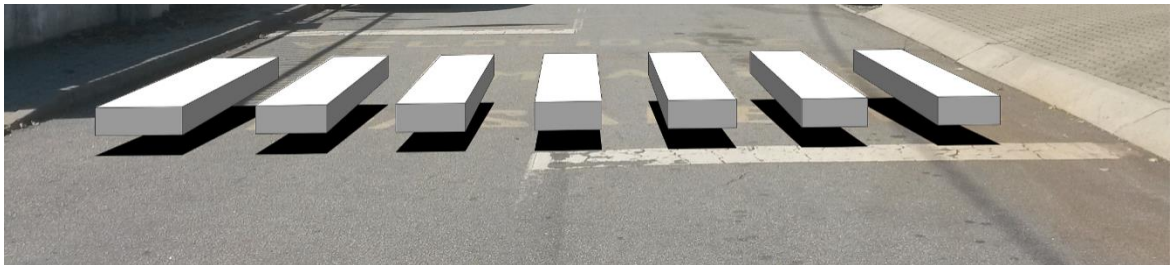


Figura 2.31 Passadeira em Realidade Aumentada (Manuel Flores)

Contudo, em nenhum dos casos o resultado não foi satisfatório já que necessitava de alguns ajustes para que ficasse convincente, como foi o caso da imagem acima.

2.4.3 Publicidade (nos recintos desportivos)

A técnica de representar em anamorfose é utilizada também nos recintos desportivos, onde podemos encontrar a perspetiva anamórfica oblíqua com fins publicitários – imagens que, quando observadas de um ponto de vista específico, aparentam estar posicionados na vertical junto à Linha de Baliza. Estes painéis publicitários constituem artefactos visuais que criam a sensação de tridimensionalidade quando assistimos a um jogo futebol pela televisão, isto porque o ponto de observação privilegiado está situado exatamente nas bancadas, na zona reservada aos órgãos de comunicação social. Este tipo de publicidade é

especialmente indicado para eventos desportivos com gravação ou (re)transmissão por câmaras fotográficas ou de vídeo, embora a visualização do artefacto não esteja necessariamente limitada a essa aplicação.



Figura 2.32 Publicidade anamórfica – Estádio AXA (Manuel Flores)

Com a devida autorização do Diretor de Comunicação do Sporting Clube de Braga visitámos o Estádio AXA⁴⁰ com o objetivo específico de analisar estas estruturas publicitárias. Neste caso, devido às dimensões do estádio a à distancia a que nos colocámos, constatámos que a imagem, quando observada do ponto de vista privilegiado, garante a necessária ilusão ótica, mesmo quando observada ao vivo (cf. Figura 2.32). Surpreendentemente, o elemento da segurança que nos acompanhava na vista ao estádio comentou “Ah! Agora eles puseram aquilo de pé!”, referindo-se aos técnicos que estavam no relvado a colocar as telas publicitárias, de onde tínhamos saído há instantes.

Estas composições anamórficas são usadas para que o observador de um evento tenha a impressão de observar um dispositivo publicitário, disposto ao alto em relação ao plano horizontal, quando na verdade se trata de um dispositivo, anamorficamente deformado, posicionado horizontalmente no nível do solo. Isso permite colocar dispositivos aparentemente não horizontais junto à linha de baliza que não interferem nas trajetórias dos atletas (cf. Figura 2.33). O documento de registo da patente (EP 3 489 937 A1 - EUROPEAN PATENT APPLICATION)⁴¹ – *Anamorphic Advertising Device for Sports Fields* – aponta para a forma trapezoidal (embora não exclusiva) da composição visual.

⁴⁰ Esta visita ao Estádio AXA decorreu no dia 27 de novembro de 2017, duas horas antes da partida de futebol entre o S. C. Braga e o C. D. Feirense, cujo resultado foi 3-1, na 12ª jornada a contar para o campeonato da Liga Portugal Bwin.

⁴¹ <https://patentscope.wipo.int/search/en/detail.jsf?docId=WO2018037142>

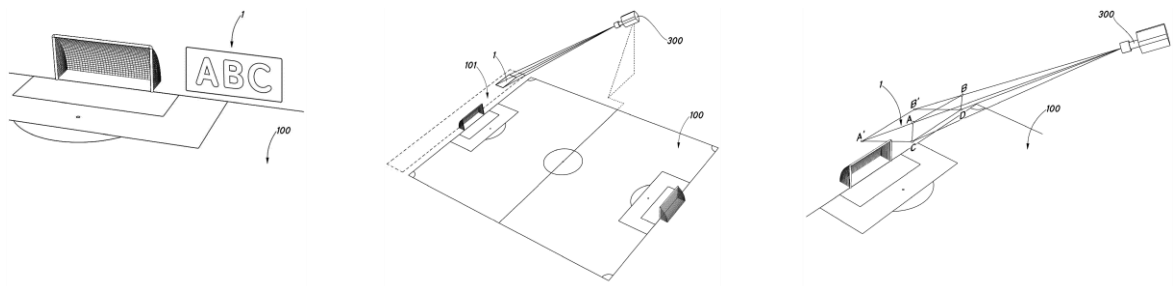


Figura 2.33 Posição de conforto para observar o dispositivo publicitário

A patente determina também um método para obter um dispositivo anamórfico que compreende duas etapas: calcular a deformação do logótipo com base nas dimensões do campo em que o dispositivo será colocado e, também, a localização da câmara a partir da qual a imagem será transmitida, obtendo, assim, um logótipo deformado.

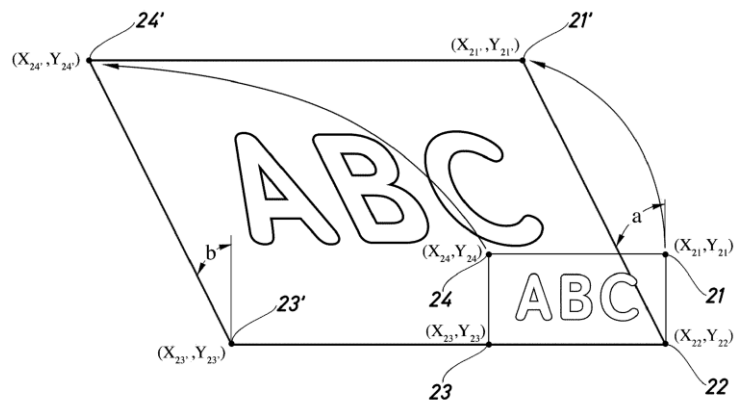


Figura 2.34 Dimensões para a concepção do dispositivo publicitário

A Figura 2.34 demonstra um exemplo de aplicação da deformação de um logótipo em que foi usada uma projeção em perspetiva cónica (apenas um ponto de fuga). Para mitigar alguns problemas com a deformação causada pelos ângulos, a norma fornece algumas coordenadas bidimensionais que podem ser usadas nos processos de cálculo dos parâmetros.

2.4.4 Perspetiva com relvo ou cenográfica e teatral

A representação tridimensional está também relacionada com a utilização da perspetiva no espaço ilusório, isto é, a perspetiva como técnica ao serviço da arquitetura e da cenografia (Costa, 1992; Xavier, 1995; Coelho, 2015). Este tipo de representação ótica traduz-se numa exploração da resolução gráfica da anamorfose no espaço arquitetónico que gera uma série de potencialidades inventivas na recriação de espaços imaginários. Esta conceção da perspetiva permite interferir na perceção do espaço natural que desafia a experiência visual do espectador, “explorando ao limite capacidades de ilusão dos sentidos e consequentemente da razão” (Coelho, 2015 p. 260).

Este fenómeno corresponde a uma distorção do espaço que parece não distorcida quando projetada e observada de um único ponto de vista. Esta possibilidade que usa o método da perspetiva para resolver o espaço com o objetivo de criar uma ilusão de maior profundidade espacial do que realmente existe tem aplicação em vastos exemplos, tanto na cenografia quanto na arquitetura (Pagliano, 2016).

A razão colinear em perspetiva entre o 3D imaginário e o espaço real permite que o cenário resulte numa composição mista, onde o espaço virtual é tomado como imagem em perspetiva da parede frontal, mais ou menos distante dos limites originais (cf. Figura 4.34). Esta oscilação da perceção da profundidade espacial depende da aplicação dos princípios de perspetiva acelerada ou da contraperspetiva (Xavier, 1995).

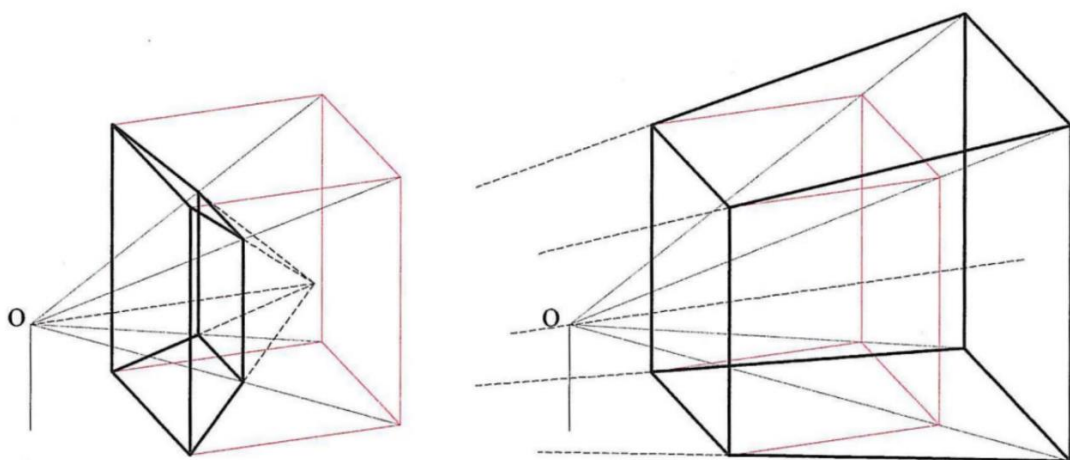


Figura 2.35 O espaço acelerado e contraperspectico como espaço piramidal (Xavier, 1995)

Esta aplicação da perspectiva que resulta numa anamorfose cuboide tem implícito, de um certo ponto de vista, uma pirâmide visual que determina a profundidade da percepção do espaço.

Um exemplo didático desta habilidade é a experiência do Quarto de Ames, um espaço especialmente construído que faz com que as pessoas pareçam mudar de tamanho à medida que se movem no seu interior (cf. Figura 4.35). O quarto não é um retângulo como os espectadores supõem, quando se posicionam no ponto de observação recomendado, onde a ilusão funciona.

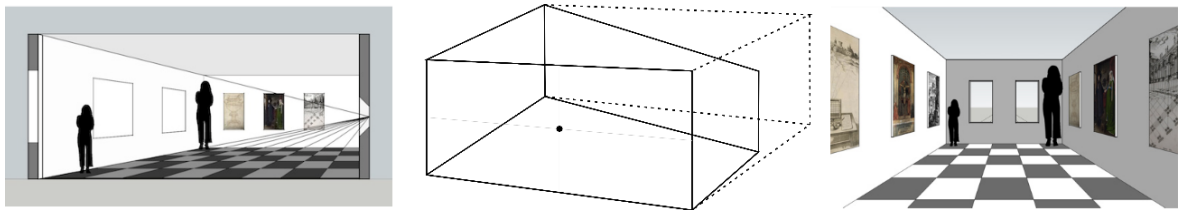


Figura 2.36 Representação do Quarto de Ames (Riccardo B.⁴²)

O Quarto de Ames, que é uma distorção usada para criar uma ilusão ótica, foi inventada por Adelbert Ames Jr. em 1946. O quarto é construído de maneira que, visto de frente, parece uma habitação normal em forma de cubo; contudo, as paredes são trapezoidais e oblíquas em relação ao observador e o teto ou piso (ou ambos) estão inclinados. As portas, janelas e painéis nas paredes também são trapézios. Na figura anterior, as duas pessoas de mesma altura que estão posicionadas nos cantos esquerdo e direito na parte de trás do Quarto de Ames parecem-nos de alturas diferentes, porque estão a distâncias diferentes do observador e porque as suas cabeças estão a distâncias diferentes do teto do quarto. O seu carácter lúdico reveste-se de interesse pedagógico pela possibilidade que oferece para a compreensão do fenómeno da oclusão radial.

⁴² <https://3dwarehouse.sketchup.com/collection/67400fe0-1e4a-4dc6-9cfd-bb52aab28a74/Ames>

2.4.5 Trompe l'oeil e anamorfose

Criar a ilusão de profundidade numa superfície com vista a obter uma representação conforme à visão humana requer a utilização de diversos elementos gráficos (o tamanho e a posição dos objetos, a sobreposição, a cor, a textura, o contorno, as sombras...). No entanto, a perspetiva construiu o elemento fundamental, pois a perspetiva permite (re)criar o efeito da tridimensionalidade que, em certos casos, chega mesmo a confundir-se com a realidade através de uma (re)construção virtual. Como referimos anteriormente, o exemplo paradigmático é o conjunto de frescos pintados por Andrea Pozzo no teto da Igreja de Santo Inácio de Loyola, em Roma (1685), onde se pode constatar que os frescos (pintura) prolongam as colunas reais (arquitetura)⁴³. Durante o período barroco as pinturas em tetos de palácios e igrejas destacam as composições de perspetiva ilusionista. Contudo, encontramos também registos de pinturas ilusórias (anamórficas) em representações de figuras humanas, como é o caso das paredes do Convento da Casa Professa de Gesù, em Roma (cf. Figura 2.35).

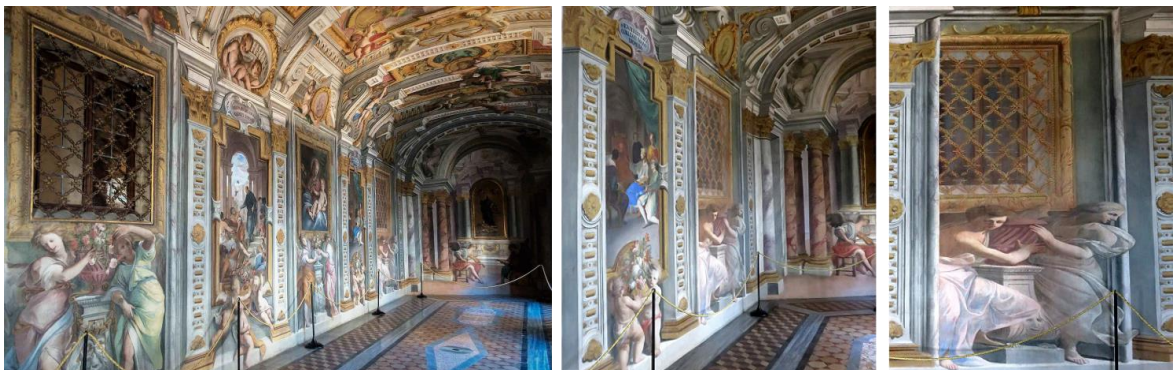


Figura 2.37 Decoração de Andrea Pozzo no corredor da Casa Professa de Gesù⁴⁴

O desenvolvimento da técnica, replicado por diversas vezes em superfícies planas e curvas, permitiu que as teorias da *costruzione legittima* e dos pontos de distância desenvolvesse cada vez mais o estudo das *trompe l'oeil*, nomeadamente, nas representações em

⁴³ No contexto histórico, a obra de Andrea Pozzo está relacionada com o período da Contrarreforma Religiosa, na qual a Companhia de Jesus teve grande importância.

⁴⁴ Agradeço ao Sérgio Diz Nunes, SJ, que me acompanhou numa visita a Roma e facilitou o acesso a esta sala e outros espaços da Casa Professa de Gesù.

anamorfose. Clarificando estes conceitos, podemos referir que *trompe l'oeil* é uma expressão de origem francesa⁴⁵ que significa “enganar o olho” é uma técnica artística que usa imagens realistas para provocar a ilusão de que os objetos representados existem em três dimensões.

A técnica artística de *trompe l'oeil* encontra-se diretamente relacionada com o conceito de anamorfose já que também explora a curiosidade do observador. No entanto, é importante realçar que a técnica da anamorfose e do *trompe l'oeil* são distintas. Em primeiro lugar, uma imagem em anamorfose pode ser identificada e reconstruída a partir de um único ponto de vista ou, no caso da anamorfose catóptrica, pela reflexão num espelho. Por sua vez, uma imagem em *trompe l'oeil* pode ser contemplada a partir de qualquer ponto, já que pode ser pintado utilizando um sistema polifocal (vários centros de projeção) onde cada ponto corresponde a uma convergência de raios visuais. Ernest (1991, p. 5) considera que na *trompe l'oeil* o “pintor diverte-se com essa ilusão, e o observador deixa-se iludir conscientemente [...] A sugestão espacial é tão forte, tão exagerada que só o tato nos revela tratar-se de imagens sobre uma superfície”. Podemos dizer que a técnica *trompe l'oeil* utiliza habilidades de perspetiva e anamorfose para criar (des)continuidades com o ambiente real.

Para enganar os sentidos provocando uma ilusão da realidade Couceiro da Costa, seguindo (Milman, 1982) assegura que a *trompe l'oeil* deverá cumprir determinadas regras, nomeadamente, ser de tamanho natural, ter um posicionamento e enquadramento lógicos, não ter elementos fragmentados pelos limites da área pintada, evitar os personagens vivos, dar a devida atenção às cores, texturas e sombras e, não dar a noção das três dimensões através de uma perspetiva muito prolongada ou saliente. Esta última regra pretende minimizar a degradação do efeito em função da deslocação do observador, o que coloca em causa a validade da perspetiva. Segundo o mesmo autor, nestes casos, a solução passaria por construções menos rigorosas ou mais flexíveis, que permitiriam outras

⁴⁵ Segundo o dicionário francês Larousse, Trompe-l'oeil significa: “Peinture qui donne à distance l'illusion de la réalité (relief, impressions tactile, spatiale...); art d'exécuter ce genre d'œuvres. (Appliqué aux sculptures et aux architectures feintes comme au rendu des objets, cet art est pratiqué depuis l'Antiquité.)”

chaves de leituras da profundidade. Por um lado, a sobreposição de elementos pode desempenhar o sentimento de evasão (abertura para um novo espaço) ou sentimento de invasão (um fundo de onde ressaltam vários elementos que se dirigem para o observador). Por outro lado, diminuir as referências pela multiplicação de direções intervenientes poderá minimizar os condicionalismos da *costruzione legittima* Costa (1992).

Capítulo 3 - CONTRIBUTOS TEÓRICOS PARA O ESTUDO DA PERSPETIVA E DA ANAMORFOSE

Em diversas representações constatamos que, desde os primórdios da civilização, os povos já possuíam a noção de profundidade na representação pictórica. A técnica de representação de imagens nos egípcios deixa transparecer o seu conhecimento sobre efeitos perspéticos, assim como as representações artísticas da antiguidade clássica, designadamente, os artefactos gregos e romanos.

A observação de determinados fenómenos relacionados com a visão (onde se destaca a degradação da grandeza aparente dos objetos e a convergência de linhas paralelas ao infinito) fez emergir uma ciência particular que assumiu designações distintas em função da cultura de origem (Camerota, 2006), nomeadamente, a ótica para os gregos e a perspetiva para os romanos. Podemos referir que a técnica da representação em perspetiva e o reconhecimento da sua importância em diversos momentos históricos traduz a busca por desenvolver métodos de representação planares tão fiéis quanto possível dos objetos e dos espaços.

Contudo, a perspetiva como método codificado de representação – que traduz uma teoria matemática – foi desenvolvida por diversos artistas no período do Renascimento, incorporando, também, explicações de alguns conceitos já existentes em séculos anteriores. Referimo-nos concretamente à geometria euclidiana clássica e, de um modo particular, ao conceito de cone visual, no qual um conjunto de semirretas originárias de um ponto, atingem cada uma delas um ponto visível de um objeto observado. O primeiro tratado sobre ótica, foi publicado pelo matemático Euclides (250 a.C.), onde, pela primeira vez, se referencia ao processo racional de observação através do conceito de cone visual⁴⁶, que terá permanecido ofuscado por desinteresse idealista até ao fim da Idade Média,

⁴⁶ Os postulados da ótica euclidiana pressupõem que os raios visuais partem do olho e atravessam um espaço de grandes dimensões, que a forma do espaço que inclui a nossa visão assemelha-se a um cone com o vértice no olho e a base se situa nos limites da nossa visão, apenas os objetos dentro do cone são visíveis. Os objetos compreendidos dentro de um ângulo visual são maiores quanto maior for o ângulo visual que os compreende, menores quanto menor seja o ângulo visual, e, ainda, que os objetos vistos com Ângulos iguais parecem ser do mesmo tamanho.

sendo, aparentemente, ignorado pelos artistas medievais. Todavia, esta ciência a que chamamos ótica não possuía propósitos relacionados com a perspectiva pictórica, estava apenas relacionada com a explicação de fenómenos luminosos e a reflexão dos espelhos.

Filippo Brunelleschi (1377-1446) – La tavoletta – dolce prospettiva

No Renascimento, a teorização da perspectiva levada a cabo por Brunelleschi e Alberti⁴⁷ traduz a conceção de um método para uma representação que mais se aproximasse da realidade observada. Ambos assinalam a génese do sistema de projeção que viria a ficar conhecido como *perspectiva artificialis* ou *pingendi* (do pintor), por oposição à *perspectiva naturalis* medieval que foi desenvolvida durante toda a Idade Média e que procurava entender os fenómenos óticos. A *perspectiva artificialis* (Flocon & Taton, 1970) empreendia a *costruzione legittima*, ou seja, o modo mais correto para a representação do mundo real observado. No entanto, convém referir que o processo de construção da *perspectiva artificialis* foi um processo complexo e gradual.

A arte no período renascentista pretendia um realismo visual e os pintores procuravam representar os seus quadros como uma cópia da realidade. Dito de outro modo, pretendia-se que a pintura quando observada revelasse, aos olhos do espectador, a mesma imagem tal como se contemplasse a realidade representada. Ora, o artefacto fundador deste expediente é, nada mais nada menos, a demonstração da 1ª tavoletta – 1420 – de Filippo Brunelleschi⁴⁸, grande arquiteto do Renascimento, popularmente conhecido por utilizar,

⁴⁷ É evidente que as investigações feitas por Brunelleschi e Alberti, aparentemente distintas, são complementares e revelam a importância do diálogo entre arte e ciência, entre os aspetos técnicos e construtivos – objetivos (*techné*) e os estéticos e evocativos – subjetivos (*poiesis*).

⁴⁸ Filippo Brunellesco foi um arquiteto e escultor italiano do Renascimento. A sua obra mais emblemática foi a criação da cúpula da catedral de *Santa Maria del Fiore*, em Florença, também conhecida como Duomo, construída em 1413. Nesta obra ele pode executar sua teoria sobre a tridimensionalidade, na verdade uma perspectiva ilusória.

em primeira mão, os princípios da *dolce prospettiva*⁴⁹ para mostrar a terceira dimensão representada num plano pictórico.

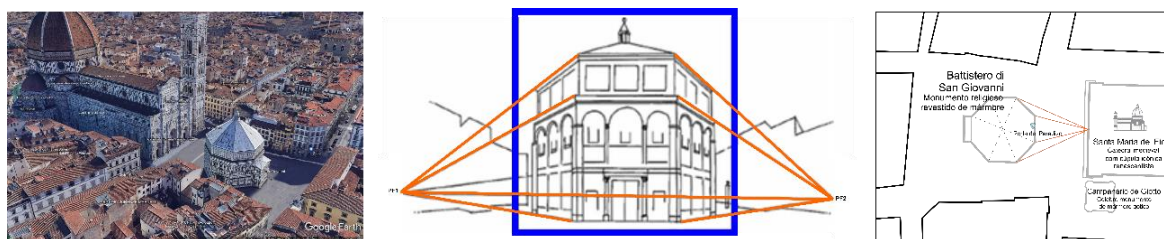


Figura 3.1 Diagrama de demonstração da 1ª tavoletta (adaptado de Martin Kemp, 1990)

A solução apresentada por Filippo Brunelleschi aproxima-se da perspetiva linear (tal como a conhecemos atualmente), que traduz a ideia de que as linhas convergentes se encontram num ponto de fuga e que todas as formas ficam menores em todas as direções com o aumento da distância do olho do observador.

Esta experiência confirmou, também, a correspondência entre o objeto real e o próprio desenho em perspetiva com a utilização de um espelho e um pequeno orifício na imagem, como referimos no capítulo anterior. Da experiência de Brunelleschi sobre o Batistério de Florença (demonstrando a perspetiva de dois pontos de fuga) podemos sugerir que encerra em si mesmo a definição de perspetiva, no sentido etimológico latino, que significa “ver através de”. Assim, a primeira experimentação que permitiu a codificação das regras da perspetiva está associada diretamente a Filippo Brunelleschi, habitualmente denominada *costruzione legittima*, isto é, uma construção geométrica (de projeção central) que faz coincidir o observador com o centro de projeção, os raios visuais com as suas projetantes e, ainda, o plano do quadro com o plano de projeção.

O dispositivo de Filippo Brunelleschi, que mobilizou um conceito de ótica associado a um fenómeno visual, influenciou a maneira como os pintores do século XV construíram

⁴⁹ “O che dolce cosa é questa prospetiva”, famosa frase do pintor Paolo Ucello, revela que, na renascença, a perspetiva não era apenas uma questão de técnica de representação (Costa, 1992; Xavier, 2004), mas algo mais apaixonante que os motivava a trabalhar longas horas neste procedimento.

especialmente as suas composições pictóricas. A *Santíssima Trindade*⁵⁰ (cf. Figura 3.2) de Masaccio (1401-1428) foi uma das primeiras imagens realizada em perspetiva, coerente com as regras matemáticas do arquiteto italiano Filippo Brunelleschi, por este motivo, considera-se um marco histórico no início da pintura renascentista. A pintura de Masaccio é um mural que representa a Santíssima Trindade com Nossa Senhora e São João aos pés da cruz, juntamente aos mecenas. Nesta obra, verificamos que o pintor seguiu as teorias de Brunelleschi sobre o conceito de perspetiva procurando aplicar as noções de profundidade numa superfície plana, como a de uma tela ou parede.

Quando Masaccio pintou o fresco da *Santíssima Trindade* as pessoas pensavam que tinha sido aberta uma cavidade na parede da Igreja de Santa Maria Novella (Florença), em virtude da tremenda perfeição conseguida através do uso da perspetiva linear e das regras *costruzione legittima*. O artista usou as teorias sobre a perspetiva de Filippo Brunelleschi (enquanto técnica de representação exata do espaço tridimensional sobre uma superfície bidimensional) para sugerir a noção de profundidade numa pintura mural. A sensação criada é tão real que as figuras planas parecem esculturas.

Para a época, esta pintura foi revolucionária e totalmente inovadora tendo influenciado outros pintores da época. Com as devidas reservas e considerando a distância temporal de seis séculos esta imagem sugere-nos o conceito de imersão que as possibilidades tecnológicas da atualidade nos permitem, como é o caso da Realidade Mista.

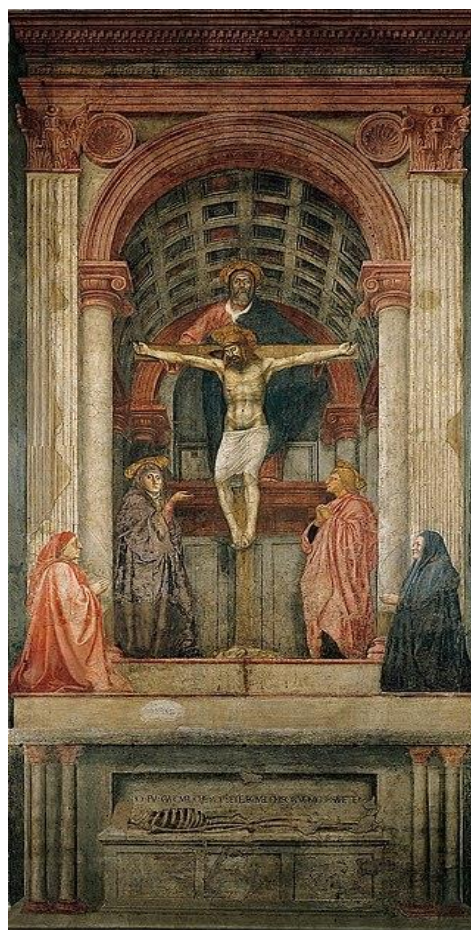


Figura 3.2 “A Santíssima Trindade”
(Masaccio)

⁵⁰ Esta obra terá sido executada entre 1426-1427, segundo a técnica do fresco na Igreja de Santa Maria Novella, Florença, com as dimensões 640x318cm. (<https://pt.wikipedia.org/wiki/Masaccio>)

Podemos afirmar que, no Renascimento, o mecanismo da visão passou a dominar a realidade na representação pictórica, uma vez que apresenta um espaço definido pelo campo visual imaginário, em que o olho do observador está sempre no seu vértice.

Leon Battista Alberti (1404-1472) – Piramide visiva

Da obra de Leon Battista Alberti⁵¹ destacamos o tratado sobre pintura intitulado *Della Pittura*, de 1435, que se tornou num marco de referência para toda a teoria do Renascimento, sendo que os seus procedimentos estão inscritos numa conceção geral da pintura que pressupõe uma teoria estética. A este respeito, Umberto Eco salienta que o uso da perspetiva em pintura implica a coincidência de invenção e imitação, na medida em que “a realidade é reproduzida com precisão, mas ao mesmo tempo sob o ponto de vista subjetivo do observador, que em certo sentido ‘acrescenta’ à exatidão do objeto a Beleza contemplada do sujeito” (Eco, 2004, p. 180). O mesmo autor sugere ainda que, segundo Leon Battista Alberti, o quadro é uma janela aberta, dentro da qual o espaço perspético multiplica os planos: o espaço já não é ordenado empiricamente, mas organizado segundo uma sucessão de afundamentos rigorosamente integrados, cheios de luz e cor (Eco, 2004, p. 183).

O arquiteto e artista Leon Battista Alberti, no seu tratado sobre pintura, trabalhou com os aspetos geométricos da visão e descreveu, pela primeira vez, a relação entre o plano da imagem e a pirâmide visual, ligando-os através de raios visuais. A descrição foi parcialmente baseada na lógica dos dois primeiros postulados no livro de Euclides “*The Optics*” de 300 aC, onde afirmava que (1º) os raios retilíneos procedentes do olho divergem indefinidamente; (2º) a figura contida por um conjunto de raios visuais é um cone cujo vértice está no olho e a base corresponde à superfície dos objetos vistos.

⁵¹ Leon Battista Alberti (1404-1472) foi um dos mais importantes arquitetos, artistas e teorizadores do Renascimento italiano. O seu percurso estendeu-se, ao modo do homem renascentista, por diversos domínios, tais como a arquitetura. De entre os seus tratados, devemos conferir particular enfoque à trilogia das artes, correspondente às obras: *De pictura*, escrita em 1435, é um tratado de pintura originalmente redigido em italiano vulgar e posteriormente em latim, dedicado ao arquiteto Filippo Brunelleschi; *De re aedificatoria*, escrito entre 1442 e 1452, é um tratado de arquitetura que toma como modelo o célebre tratado de Vitruvio, seguindo o formato clássico de dez livros/capítulos; e, por último, *De statua*, escrito em 1462, é um tratado de escultura.

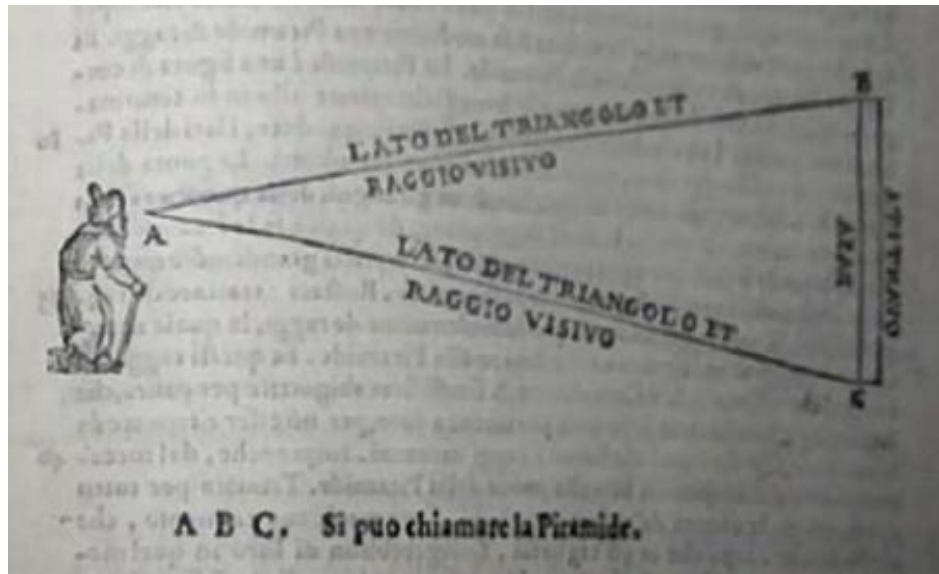


Figura 3.3 Pirâmide visual e plano da imagem (Alberti, Della Pittura)

Leon Battista Alberti explica, também, que o olho emite uma série de raios visuais que se projetam contra o mundo, formando uma espécie de pirâmide visual na qual se constroem a sensação de espaço, profundidade e perspectiva. Na tentativa de (co)responder ao problema dos pintores – reprodução do espaço tridimensional na superfície bidimensional – Alberti considera que o quadrilátero correspondente à tela funciona como a moldura de uma “janela aberta para o mundo”, gerando a partir do olho do observador uma pirâmide visual que capta a realidade com a exatidão matemática da perspectiva (Xavier, 2004, p. 51).

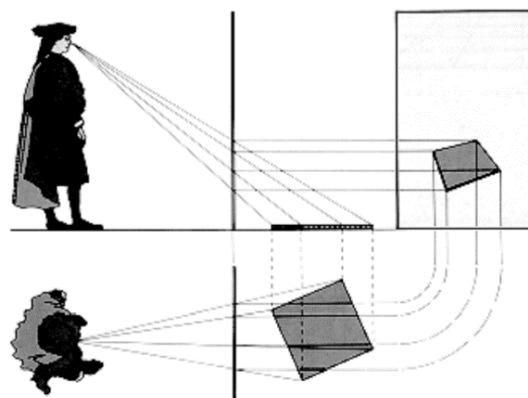


Figura 3.4 Representação da *costruzione legittima* (João Pedro Xavier⁵²)

⁵² Xavier, J.P. (1997). *Perspectiva, Perspectiva Acelerada e Contraperspectiva – Dos enganos e “dezenganos” da vista*. Coleção Escola, série 3, nº 2. FAUP Publicações

João Pedro Xavier considera que a substituição da ideia de cone visual (na ótica euclidiana) por pirâmide visual está associado ao formato da tela do pintor (quadrilátero). Acrescenta, ainda, que esta mudança não é assim tão ingénua, mas faz toda a diferença, já que o conceito de pirâmide na aceção albertiana arrasta consigo o princípio basilar da *intersegtione* dos raios visuais com um plano de projeção reduzido, por conveniência, a um retângulo identificado com a tela (Xavier, 2004, p. 51).

Supondo que a cena ou objeto a representar é composta por um cubo, como exemplificado na figura seguinte, cada ponto do cubo projeta um raio luminoso para o olho do observador. Posicionando o quadro (correspondente à tela) em frente à cena (que neste caso é um cubo) bastará, então, desenhar os pontos de interseção destes raios emitidos pelos vértices do cubo com o plano do quadro. Como cada ponto de interseção do quadro está alinhado com o respetivo ponto do cubo e o olho do observador, este não notará a diferença entre um e outro em virtude do fenómeno da oclusão radial, como discutiremos no capítulo seguinte, bem como as potencialidades que encerra.

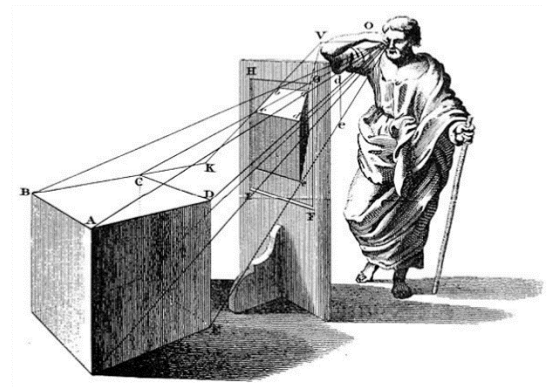
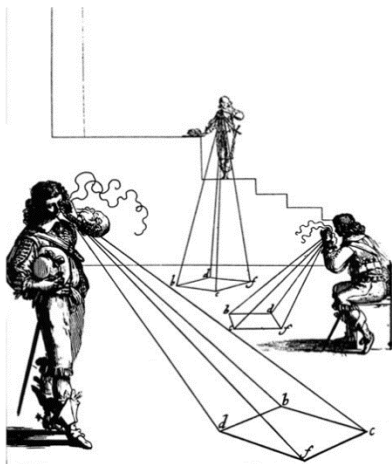


Figura 3.5 Pirâmide visual de Alberti, por A. Bosse (à esquerda) e por B. Taylor (à direita)

Alguns anos mais tarde Abraham Bosse⁵³ e Brook Taylor⁵⁴ recriam a pirâmide visual idealizada por Leon Battista Alberti e mostram como o quadro pode funcionar como uma janela para o objeto a representar. Demonstraram o procedimento da construção da

⁵³ Bosse, A. (1647). *Les Perspecteurs*. Paris, Pierre de Hayes.

⁵⁴ Taylor, B. (1715). *New Perspectives of Linear Perspective*. Harvard College Library.

perspetiva identificando o objeto a representar (cubo), a respetiva pirâmide visual (com vértice no olho do artista) e ainda o resultado da intercessão dos raios visuais com o plano (tela montada num cavalete). Mostram, também, a projeção ortogonal da projeção do olho do artista (ponto V), que corresponde ao centro do quadro.

A *piramide visiva* (expressão de Alberti) é um conceito geométrico que se destinge da ideia de cone visual, enquanto conceito ótico, mas corresponde, em ambos os casos, ao alcance de visão disponível a partir de uma determinada posição, ou mesmo da porção central do campo visual (Xavier, 2004). Para se ter uma ideia do que Alberti ensinou aos seus contemporâneos, devemos analisar o que os artistas renascentistas passaram a chamar de *costruzione legittima* (construção legítima) ou o *modo ottimo*⁵⁵ do desenho em perspetiva de um pavimento composto por quadrados. A Figura seguinte resume a geometria subjacente à construção geométrica do mecanismo projetivo de Alberti. Para a sua realização, é necessário uma planta (vista de cima) e um alçado (vista lateral) do pavimento, onde estão indicados o plano do quadro e o centro de projeção.

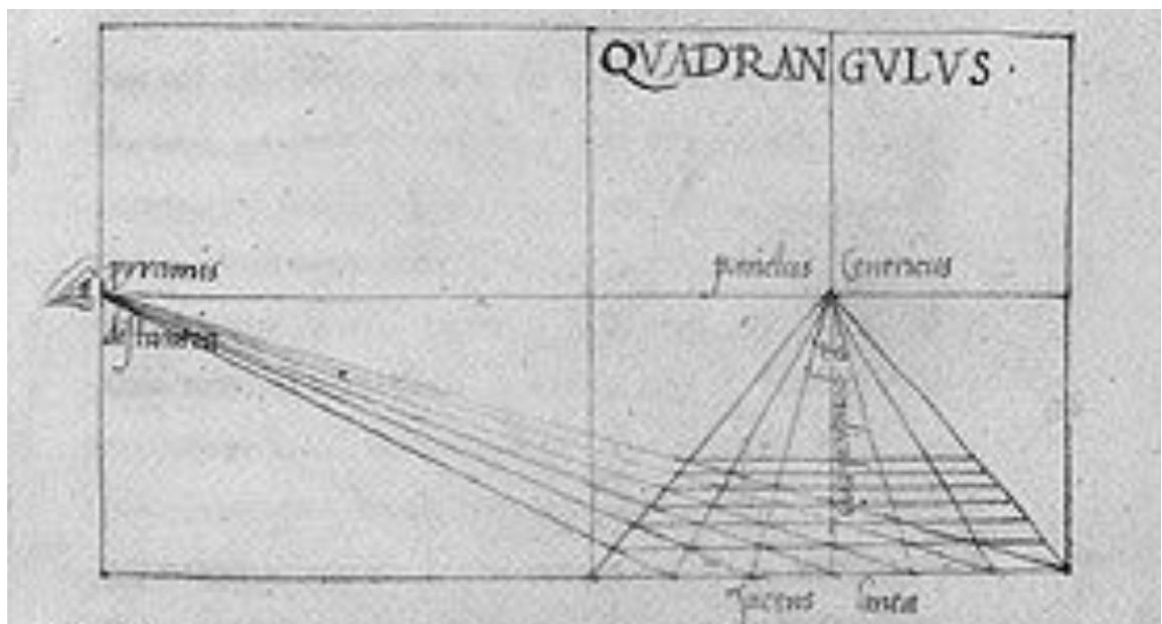


Figura 3.6 Conceito de *piramide visiva* na construção geométrica do mecanismo projetivo (Alberti)

⁵⁵ João Pedro Xavier aponta a existência de diferentes tipos de construções perspéticas como a *costruzione legittima* de Brunelleschi, em 1414; a *costruzione abbreviata* de Alberti (1435), a *costruzione con if punto della distanza* de Vignola (1545-1583) e a *costruzione con i punti di concorso* de Guidobaldo del Monte (1600), na prática, conduzindo qualquer uma delas aos mesmos resultados (Xavier, 1995 p. 154).

A dificuldade da construção legítima de Filippo Brunelleschi levou Leon Battista Alberti a procurar um procedimento mais simples para a representação em perspectiva. Em *Della Pittura* (1435) apresentou pela primeira vez os conceitos da nova ciência, definindo perspectiva através da pirâmide que será a figura de um corpo de cuja base todas as linhas retas traçadas terminam em um único ponto. Assim, a base geométrica para se obter a *costruzione legittima* pode ser resumida do seguinte modo: Para pintar uma superfície, em primeiro lugar é necessário desenhar um quadrado ou retângulo – que serve de janela aberta – através do qual deve ser visto um objeto ou cena que se pretende representar; apontar um ponto para onde se dirige a vista, dentro do retângulo – que corresponde ao ponto central; fixar a altura de um homem, que Alberti recomenda igual a três braços, e com a mesma unidade de medida dividir a base do quadrilátero num determinado número de partes iguais; e construir linhas retas partindo de cada um dos pontos do segmento (linha de terra) em direção aos dois pontos de fuga distintos e, finalmente, desenhar linhas paralelas à linha de terra, passando pelos pontos de intersecção das linhas procedentes dos dois pontos de fuga⁵⁶.

Piero della Francesca (1415-1492) – Prospettiva pingendi

Podemos afirmar que o modelo Albertiano desenvolveu as bases da concepção perspética, no entanto, alguns problemas delineados pelos pintores da época não se resolveram na totalidade. Mais tarde, Piero della Francesca⁵⁷ (1418-1492) escreveu *De Prospettiva Pingendi*⁵⁸, onde é possível assinalar marcas específicas do modo de observar do pintor, contudo, as questões geométricas assumem uma centralidade nas suas considerações. Os

⁵⁶ Leon Battista Alberti, *De pictura* (1436)

⁵⁷ Piero della Francesca (1416-1492) foi um pintor e matemático italiano de *Quattrocento*, segunda fase do Renascimento italiano. Primou pela criatividade em relação ao passado medieval, apresentando técnicas e temáticas inovadoras – o uso da tela e da pintura a óleo, o retrato, a representação da natureza – mas destinge-se dos demais pintores da sua época pelos contributos para o estudo da perspectiva e a representação do volume.

⁵⁸ Piero della Francesca, *De Prospettiva Pingendi* (Florença: Le Lettere, 2005). Obra compilada entre 1472 e 1475 (publicada pela primeira vez em Paris, em 1841).

conceitos básicos da geometria estavam formados a partir de conceitos visuais associados a demonstrações empíricas, mas que pretendiam construir uma ciência que constituísse uma base de trabalho para os artistas. Assim, o sistema de perspectiva de Piero della Francesca supõe uma organização completa do plano pictórico em conformidade com as regras de uma rigorosa obediência geométrica, para fazer prova matemática da validade da perspectiva (Xavier, 2004). A utilização persistente destas regras durante o Renascimento, tornam a prática e o estudo da perspectiva numa obrigação para os artistas que pretendiam realizar "corretamente" representações pictóricas. Um exemplo típico da aplicação da teoria apresentada em *De Prospectiva pingendi* é a execução do quadro "A cidade ideal de Urbino"⁵⁹.



Figura 3.7 A cidade ideal de Urbino

A "Cidade Ideal", painel pintado em madeira, encomendada pelo Duque de Urbino por volta de 1480, mas cuja autoria se discute⁶⁰, está definitivamente ligado aos fundamentos teóricos e científicos dos tratados "de *Prospectiva pingendi*" e "de *Corporibus regularibus*"⁶¹ que terá sido pintado por si ou um colaborador seu.

⁵⁹ *Galleria Nazionale delle Marche* em: <http://www.gallerianazionalemarche.it/en/collections/>

⁶⁰ Piero della Francesca, contribuição de Boticelli ou Leon Battista Alberti ou, ainda, Francesco di Giorgio Martini. Segundo a *Galleria Nazionale Delle Marche* o seu autor terá sido muito provavelmente Luciano Laurana.

⁶¹ Piero della Francesca, *Libellus De Quinque Corporibus Regularibus*. (Escrito por volta do ano 1480). O único exemplar conhecido encontra-se na Biblioteca Apostólica Vaticana sob a referência Vat.Urb.632 e pode ser consultado on-line em Urb.lat.632 | DigiVatLib

Piero della Francesca no seu tratado *De Prospettiva Pingendi* descreveu graficamente o seu método, mediante uma planta e um alçado com grande rigor matemático (cf. Figura 3.8).

O tratado de perspectiva de Piero della Francesca é uma referência fundamental para o estudo da perspectiva dada a sua pertinência para a história da pintura e da ciência perspética (Trindade, 2008). Neste tratado, Piero ocupa-se da perspectiva em diversas abordagens, partindo da planta e do alçado de diferentes figuras, recorrendo ao método antes descrito por Alberti, da *costruzione legittima* e da intersecção dos raios visuais, que vão desde a representação perspética de figuras mais simples (como o quadrado) até ao hexágono e outras formas poligonais. Como sustenta Trindade (2008, p. 155) “o autor refere ainda o método das projeções centrais e oblíquas que podemos relacionar com o estudo das anamorfoses”.

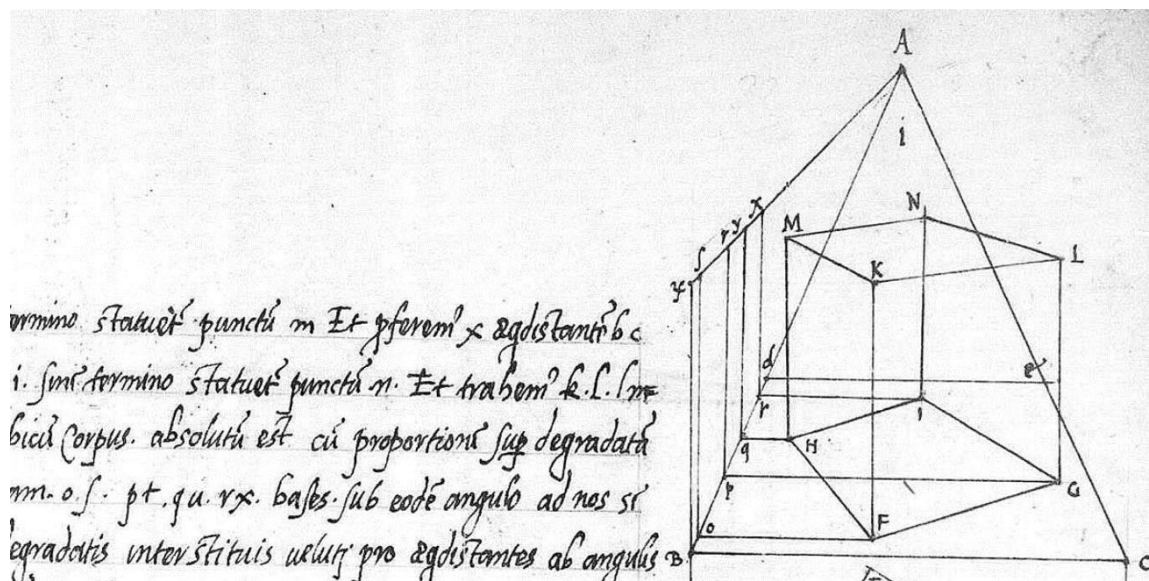


Figura 3.8 *De Prospettiva Pingendi*, Livro II, proposição III, f.17 (Piero della Francesca⁶²)

Esta representação encerra enormes potencialidades para a abordagem desenvolvida no nosso itinerário formativo já que permite estabelecer uma relação conveniente entre a representação tridimensional no desenho manual e as representações digitais de RA.

⁶² Museu Galileu em: <https://exhibits.museogalileo.it/deprospettivapingendi>

Leonardo da Vinci (1452-1519) – Trattato della Pittura

No período do renascimento a perspectiva assume uma importante componente procedimental na representação pictórica, já que cumpria propósitos de captar a realidade com exatidão, mas, simultaneamente, tornava-se uma forma de expressar as ideias renascentistas, traduzindo-se numa crescente valorização da racionalidade, da ciência. Todas as construções partem do princípio do ponto de vista único, tal como foi ilustrado nos cadernos de Leonardo da Vinci (1452-1519), e comprovado pela construção dos perspetógrafos – máquinas para facilitar o desenho em perspectiva – que assumem relevância e valor enquanto modelo de pensamento (Costa, 1992). Este ponto de observação único reinterpretado por diversos artistas traduz-se num conjunto de possibilidades de observação do real que confere ao procedimento perspetivo uma componente simbólica (Panofsky, 1999).

Os esboços de Leonardo da Vinci sugerem que terá usado um plano transparente “*Pariete di vetro*” para desenhar a projeção de uma esfera armilar, exemplificando o conceito de cone visual. Neste caso, o centro de projeção corresponde ao orifício feito na tábua por onde o artista espreita a esfera.

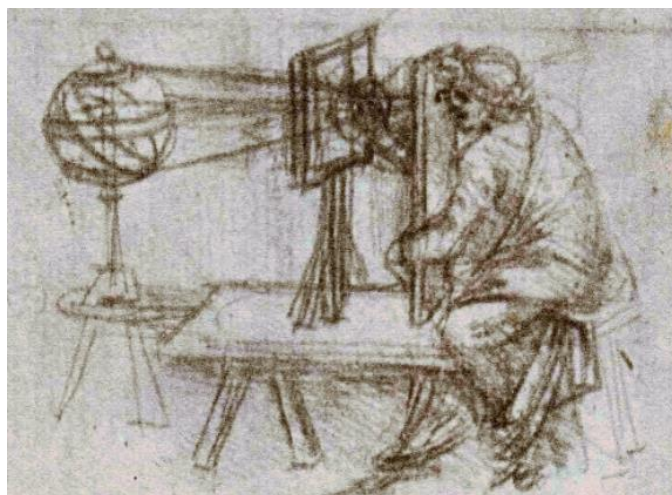


Figura 3.9 “Perspetógrafo para desenhar esfera armilar” (Leonardo da Vinci⁶³)

⁶³ Leonardo da Vinci apresenta em *Codex Atlanticus I, 5r*; 1480 uma variante da experiência de Brunelleschi combinada com a janela de Alberti, utilizando uma superfície de vidro translúcido, que ficou conhecida como *finestra leonardesca*. (https://es.wikipedia.org/wiki/Ciencia_e_inventos_de_Leonardo_da_Vinci)

Este procedimento – um painel de vidro – permitiu reproduzir todas as distorções visuais criadas pela distância e pelo ângulo (as convergências das retas perpendiculares ao quadro), fazendo os objetos diminuírem de dimensão à medida que a sua distância ao quadro aumentava. A aplicação da *costruzione legittima* pode ser testemunhada na obra de Leonardo “Adoração dos Magos” (cf. Figura 3.10), onde é possível observar a convergência de todas as ortogonais para um ponto de fuga definido. Este estudo de Leonardo da Vinci é importante porque demonstra que um dos princípios utilizados pelos artistas da época para determinar a perspectiva era através da subdivisão do espaço (quadro geometral) em quadrículas (Canotilho, 2005).



Figura 3.10 “Estudo perspético da Adoração dos Magos” (Leonardo da Vinci, 1481⁶⁴)

Contudo, nesta obra é possível constatar alguns indícios de como Leonardo começa a trabalhar com a imagem em diferentes tonalidades e detalhes, o que revela que o artista reconhece igualmente importância à sensibilidade do artista. Esta obra inscreve numa profunda intencionalidade e obedece a uma cuidadosa regulação matemática do espaço representado. Nela é possível especular sobre a relação entre a construção perspética enquanto mecanismo de estruturação do espaço e como elemento transformador do espaço expressivo que se apresenta ilusório (Lopes, 2016, p. 78).

⁶⁴ <https://www.discoveringdavinci.com/adoration-of-the-magi>

A perspectiva de Leonardo da Vinci no seu *Trattato della Pittura* (compilado em 1651) deverá ser trabalhada de forma a alcançar a ilusão de profundidade utilizando também os jogos de luz e variando as tonalidades consoante as cenas de encontram mais próximas ou mais distantes do observador (Xavier, 1997). O contributo de Leonardo para o estudo da perspectiva baseia-se, portanto, no modelo ocular, mas também no estudo nas cores, tendo estabelecido a perspectiva aérea/atmosférica que se define pelas formas difusas como resposta ao problema da deformação perspéctica, onde a ilusão da profundidade resulta através de jogos de luz e cor.

No quadro “A virgem dos rochedos”⁶⁵ (cf. Figura 3.11) podemos observar o conceito de perspectiva atmosférica que consiste no princípio de que, à medida que nos afastamos, menos noção há das formas. Assim, nos elementos mais próximos, são utilizados contornos definidos, cores luminosas com mais pormenores e, à medida que se vão afastando em profundidade, os limites das representações assumem cores mais esbatidas e contornos menos definidos (Xavier, 1997; Canotilho, 2005). Esta pintura é considerada um exemplo perfeito da técnica *sfumato* de Leonardo, que cria uma atmosfera envolvente e as figuras emergem do fundo escuro com uma luz difusa.



Figura 3.11 “A virgem dos rochedos”
(Leonardo da Vinci)

No decorrer dos estudos sobre luz e cor (cf. Figura 3.12), Leonardo analisa a geometria das sombras e as diferentes fontes de luz que as geram, e conclui que, dependendo da

⁶⁵ A Virgem dos Rochedos é uma pintura a óleo sobre madeira (199cm × 122cm) pintada no período de 1483 a 1486 pelo génio italiano Leonardo da Vinci e que se encontra no Museu do Louvre, em Paris. (https://pt.wikipedia.org/wiki/Virgem_das_Rochas)

trajetória dos raios que colidem com um objeto e como o iluminam de um lado ou de outro, são geradas sombras com certas nuances, incluindo diferentes cores de sombra.

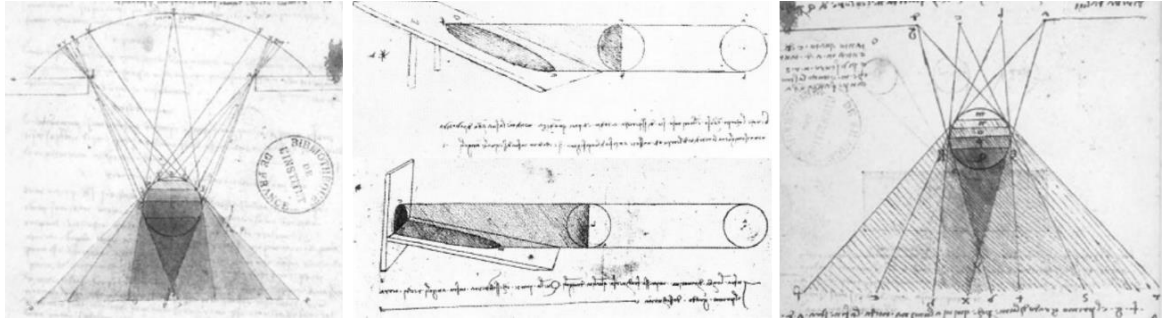


Figura 3.12 “Estudos sobre sombras” (Leonardo da Vinci⁶⁶)

Leonardo Da Vinci apontou, também, que a deformação que decorre da abertura exagerada do ângulo de visão e excessiva proximidade do observador ao objeto pode resultar na produção de imagens anormais, que, levadas ao extremo, se tornariam aberrantes e impercetíveis (Xavier, 1997; 2004). Este embaraço na representação ficou conhecido como o Paradoxo de Leonardo (cf. Figura 3.13).

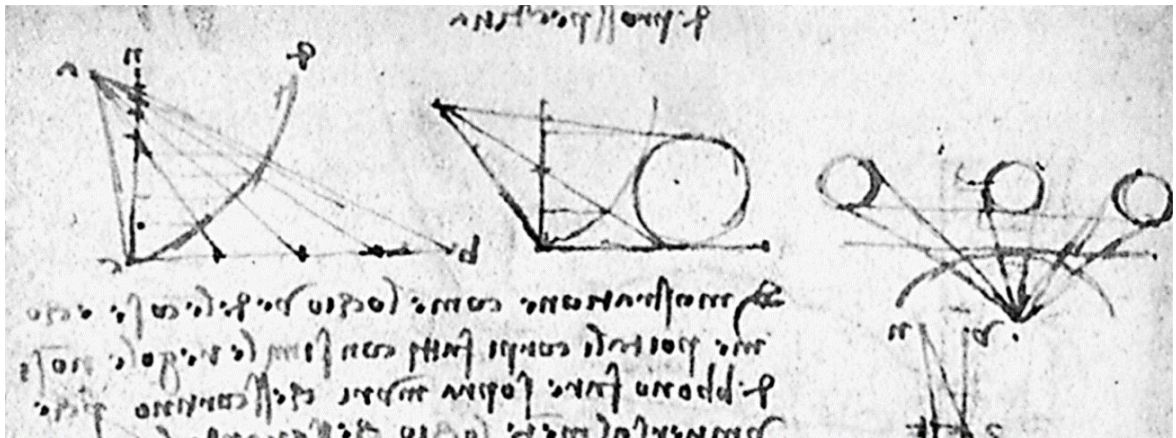


Figura 3.13 Estudos sobre o paradoxo de Leonardo (Leonardo da Vinci⁶⁷)

De facto, a perspetiva linear, como mostra o aparente paradoxo, representa tão só uma das várias seções transversais possíveis do cone visual e que atualmente sabemos que se

⁶⁶ Manuscript C. - Bibliothèque de l'Institut, Paris.

⁶⁷ Madrid Codex II, folio 15v. (Nestes esboços é possível ainda observar uma aproximação à perspetiva curvilínea, que abordaremos mais a diante neste trabalho).

trata de anamorfoses, nome dado às representações de outras seções, sejam elípticas, hiperbólicas ou de outra configuração (Vereycken, 1996).

No entanto, Leonardo Da Vinci aponta o plano da pintura como causa dessas distorções, que evidentemente, como veremos mais adiante, tentarão ser eliminadas com perspectivas curvilíneas que substituem o plano da pintura por uma superfície curva.

Este paradoxo confirma a visão de Leonardo sobre os limites da projeção linear. O olho e a sua retina curva, bem como a rotação dos globos oculares, ajudam a corrigir as distorções que de outra forma aumentariam com a aproximação entre olho e objeto (cf. Figura 3.14). Karel Vereycken explica que, se o espectador se posicionar em S1 e projetar a imagem de três colunas, A, B e C em *screen 1*, a imagem projetada parece aceitável. Pelo contrário, se o espectador estiver em S2 e projetar a imagem em *screen 2*, B' será menor do que A' e C', enquanto A e C estão mais afastados do espectador (Vereycken, 1996).

Para evitar estas deformações, no Renascimento, os pintores adotavam dois tipos de soluções para o problema. A primeira consistia em combinar a perspectiva linear com a perspectiva natural, fazendo uso da última, intuitivamente, como corretor da distorção causada pela primeira. A outra opção, sugerida por Leonardo, consiste simplesmente em aumentar a distância do ponto de vista até que tais aberrações desapareçam do plano do quadro. No entanto, esta última solução, tão razoável, acaba por propor uma limitação ao ângulo de abertura do cone de visão.

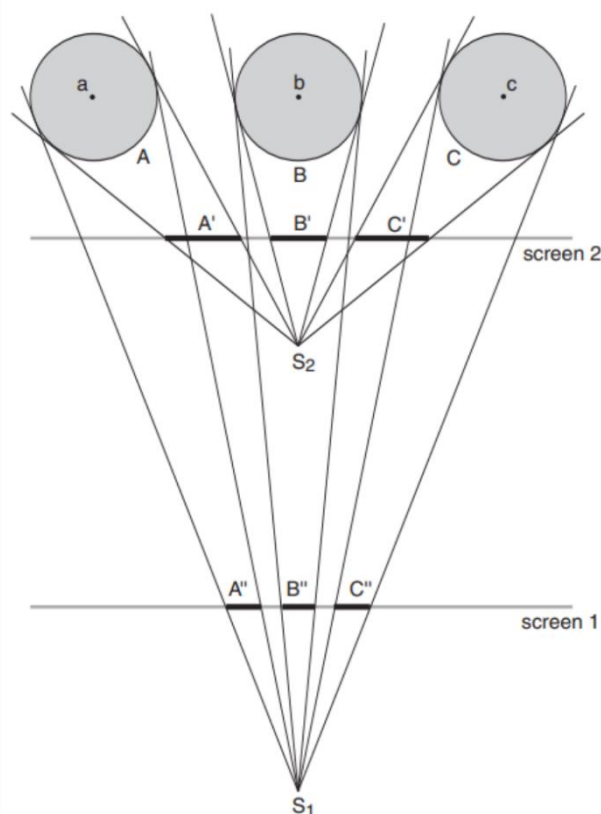


Figura 3.14 “Paradoxo de Leonardo” (Vereycken, 1996)

No decorrer dos seus estudos Leonardo inverte as regras da perspetiva, ao notar que essas imagens eram possíveis de ser restabelecidas através da sua visualização a partir do ponto de vista original, onde voltavam a fazer sentido. Deste modo, representa em *Codex Atlanticus* dois desenhos anamórficos que representam a cabeça de um bebé e um olho. O historiador de arte Jurgis Baltrušaitis considera estas representações os exemplos mais antigos de anamorfose. Embora inicialmente mantidos em segredo, os procedimentos geométricos foram divulgados durante o século XVII, com a criação de um segundo grupo de anamorfoses e a sua múltipla divulgação (Baltrušaitis, 1976). Segundo Pedretti e Cianchi (1995), o Manuscrito A, preservado no *Institut de France*, inclui a descrição de uma técnica para conseguir uma anamorfose usando um orifício através do qual um raio de luz projeta a sombra, do objeto que está a ser desenhado, numa parede – Leonardo definiu este procedimento como “perspetiva acidental”.

Albrecht Dürer (1471-1528) – Perspetógrafo

Albrecht Dürer⁶⁸ foi gravador, pintor, ilustrador, matemático e, provavelmente, o mais famoso artista do Renascimento nórdico, criou pinturas e desenhos de alta qualidade tendo-se notabilizado, particularmente, no desenvolvimento da gravura. Quando já era um artista de prestígio, contactou com o italiano Jacopo de Barbari, que o guiou ao encontro dos segredos da perspetiva. Em 1525, o artista Albrecht Dürer (1471-1528) publicou um tratado "*Unterweisung der Messung*"⁶⁹ sobre medida e proporção que incluía uma série de ilustrações de molduras de desenho e máquinas de perspetiva, integrando também projeções ortográficas. O objetivo desses dispositivos era permitir que os artistas fizessem

⁶⁸ Albrecht Dürer, formou-se em estética medieval em Nuremberga, na Alemanha, enquanto artista interessou-se pelo estudo da perspetiva, foi para a Itália aprender "a arte da perspetiva secreta". Quando finalmente dominou a representação da terceira dimensão no plano, teve o cuidado de ensiná-la no mundo alemão, onde era algo desconhecido, para o qual escreveu tratados que tiveram grande difusão. E. Panofsky, *Vida e Arte de Alberto Dürer*.

⁶⁹ Nesta obra Albrecht Dürer, através de uma abordagem científica, trata problemas de Geometria Linear que em geral ocupavam os matemáticos, escreve a construção geométrica das letras romanas, introduz como novidade a planificação de sólidos, em detrimento da representação destes em perspetiva e realiza também estudos exaustivos acerca das proporções humanas e sobre a perspetiva.

medições precisas dos temas escolhidos ou desenhassem uma cena tal como aparecia diante deles, a fim de criar uma ilusão convincente do mundo real. Dürer ficou conhecido como criador de máquinas de perspectiva – perspetógrafos – que serviam para trabalhar conceitos de geometria. Assim, grande parte da sua atenção foi dedicada à conceção de modelos mecânicos para auxiliar a construção da imagem em perspectiva, descrevendo, meticulosamente, os procedimentos e ilustrando, cuidadosamente, os seus artefactos. Os diferentes procedimentos imaginados por Dürer consistem em imobilizar o olho do desenhista, depois determinar a interseção de um raio visual com o plano do quadro, sendo este materializado por uma janela de vidro, uma janela de quadriculados, ou por um instrumento equipado de uma porta móvel, a portinhola (Comar, 1992).

Estas icónicas e prodigiosas máquinas de desenhar, que se tornaram símbolos do desenvolvimento da perspectiva (Xavier, 2004), representam preocupações científicas sobre a teoria e inquietações técnicas sobre a prática renascentista no desenvolvimento da perspectiva. Deste modo, a representação em perspectiva passa a constituir um critério de beleza, na medida em que, a boa representação era entendida pelos artistas do Renascimento não só como justa e realista, mas também bela e agradável à vista, ao ponto de se considerar primitivas, inábeis ou até feias, as representações de outras culturas nas quais não se respeitavam essas regras (Eco, 2004).

Em alguns dos seus dispositivos Albrecht Dürer usava um plano com uma rede em que a técnica de desenhar em perspectiva se baseava no rastreamento do desenho através dos raios visuais, onde a posição do olho do artista era fixada na extremidade de uma haste vertical. A grade permitia que o artista obtivesse um desenho preciso do objeto que observava através da origem dos raios visuais (cf. Figura 3.15).



Figura 3.15 “Perspetógrafos – cavalete e grade de observação” (Albrecht Dürer)

O artista estabeleceria uma linha de visão que partia do olho do observador para qualquer parte do objeto a desenhar. Na sua frente estava o papel de desenho com uma grade correspondente à grelha através da qual observa o objeto a desenhar. Estas representações da máquina de desenhar permitiam aos artistas aplicar os princípios da perspectiva descritos no tratado de pintura de Leon Battista Alberti. A racionalidade implícita nas máquinas de desenhar em perspectiva reflete também os contributos da *finestra* de Leonardo da Vinci e de Jacobus Keser, na versão em que utiliza um painel de vidro (cf. Figura 3.16).

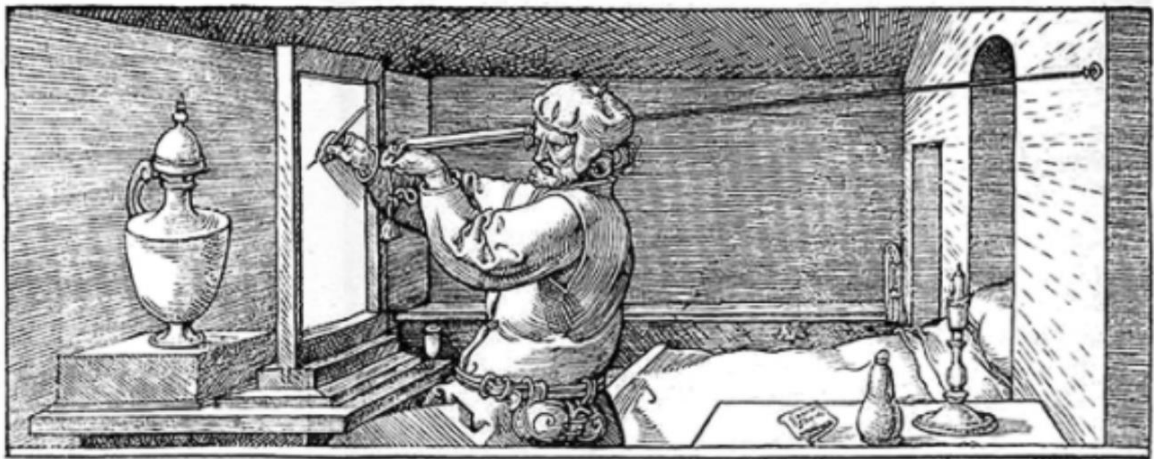


Figura 3.16 “Perspetógrafo – visor de vidro” (Albrecht Dürer)

Albrecht Dürer não terá sido um visionário à maneira de Leonardo, mas foi inigualável na investigação e registro das suas experiências realizadas através dos perspetógrafos. Várias xilogravuras demonstram todo o seu entusiasmo e empenho em compreender a perspectiva pois estava preocupado em melhorar a sua arte. A mais emblemática versão da sua máquina é o “desenhador de alaúde”, representada na xilogravura de Albrecht Dürer, de 1525, que pretendemos reabilitar incorporando os procedimentos implícitos no seu funcionamento no itinerário formativo implementado na parte empírica desta tese procurando para tirar partido pedagógico deste artefacto (cf. Figura 3.17).

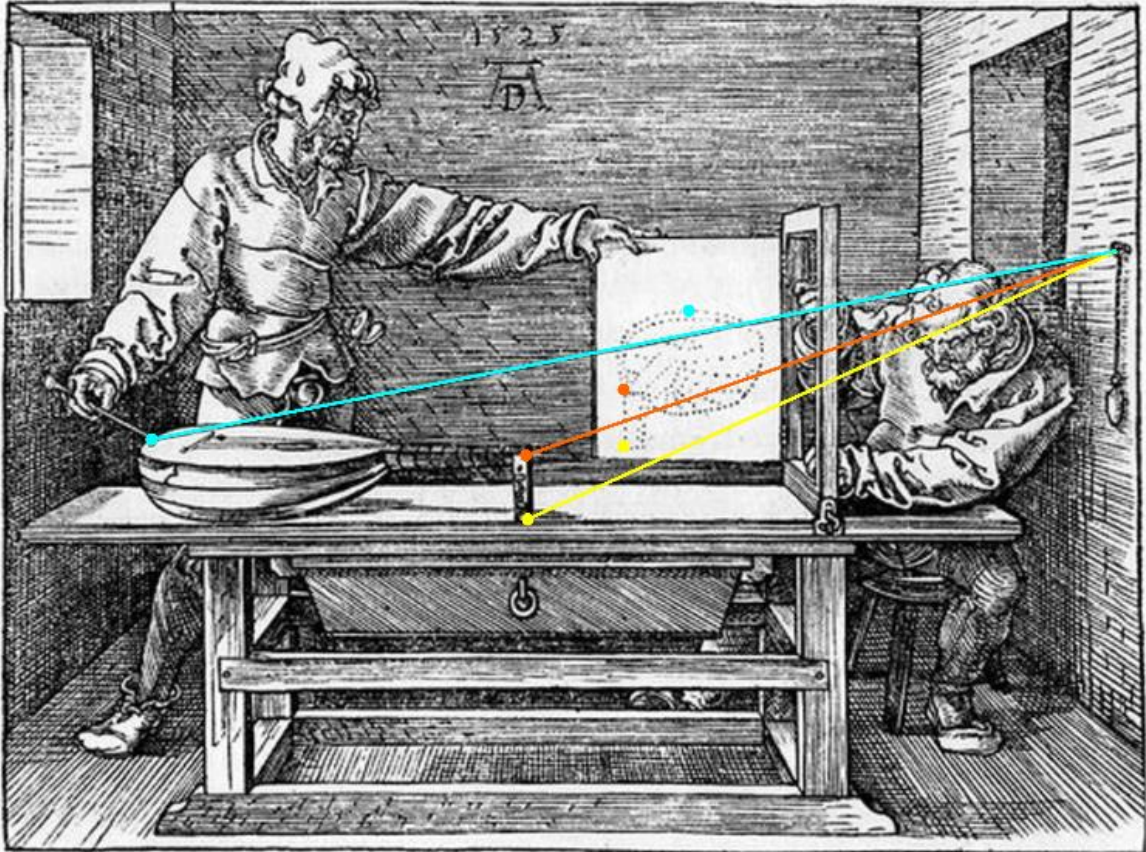


Figura 3.17 “O artista desenhando um aláuide”, portinhola (Albrecht Dürer)

A xilogravura de Albrecht Dürer “O desenhador e o aláuide” é uma ilustração de como os artistas usaram os recursos tecnológicos da época para obter a perspetiva nas suas obras. A xilogravura mostra a cooperação entre dois homens que vão manuseando um dispositivo que materializa os raios visuais com um fio de corda amovível e orientável em qualquer direção desejada a partir de um ponto fixo na parede. O desenho é meticulosamente (re)produzido através das coordenadas da imagem plana do aláuide que são determinadas pela posição de dois fios, um vertical e outro horizontal, presos à moldura de madeira colocada na vertical, em frente ao desenhador. Os pontos assinalados por interceção, estrategicamente colocados, são, de seguida, transferidos para o suporte colocado na *sportello* (portinhola), que, por intermédio de dobradiças, se vai articulando num movimento de vai e vem.

As máquinas desenvolvidas por Dürer representam um importante contributo para o estudo da perspetiva e tiveram um acolhimento assinalável, tendo servido de inspiração

para outros artistas, sendo, como refere Xavier (2004), por diversas vezes retomadas e reinterpretadas, designadamente, a Portinhola de Daniele Barbaro (1568), a derivação da Portinhola de Salomón de Caus (1612) e a versão da Portinhola de Salvador Muñoz (1642). Albrecht Dürer apresentou, ainda, um método para obter a *costruzione legittima* conhecida a partir do raciocínio de Piero della Francesca, baseado numa listagem de valores de distâncias entre pontos de interseção de raios de vértices de cubos com fundo obtido em duas projeções.

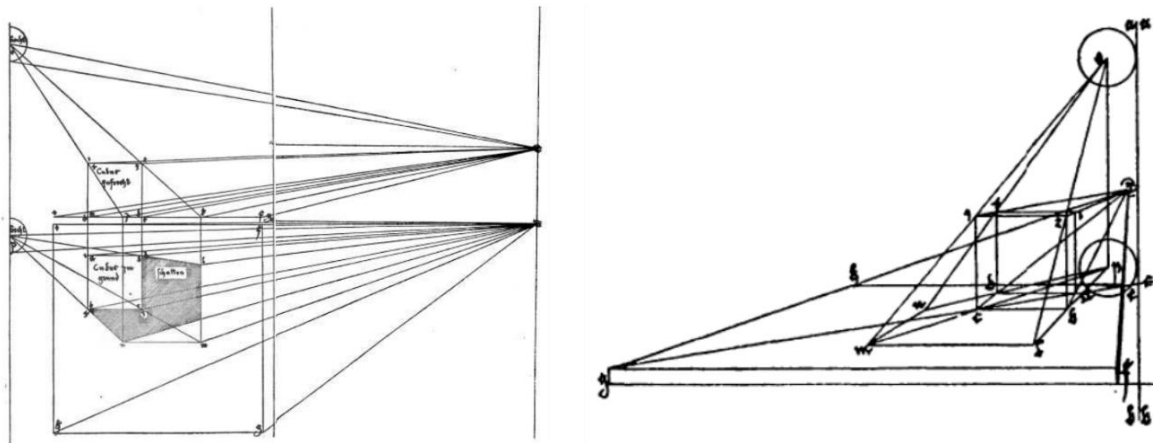


Figura 3.18 Construção em perspectiva da sombra de um cubo (Albrecht Dürer)

Na figura anterior, Dürer exemplifica uma construção de um cubo resultante da intersecção de um feixe de raios com a superfície de projeção, apresentando, ainda, a sua sombra através de uma iluminação central.

Hans Holbein, o Jovem (1497-1543) – Aberrações marginais, a anamorfose

Durante o séc. XV e seguintes o conhecimento da perspectiva difundiu-se não só em Itália, mas também artistas do norte da Europa começaram a adotar a técnica da arte da perspectiva, inclusivamente a perspectiva distorcida que explica o fenómeno da anamorfose. No tratado “*De prospectiva pingendi*” Piero della Francesca descreve a técnica que permite criar uma anamorfose de perspectiva que corresponde ao resultado da rotação do ângulo da janela visual para uma posição fora do olho do artista, isto é, se tentarmos a ver uma

pintura a partir da posição convencional (posição do pintor) esta parecerá distorcida ou mesmo irreconhecível. Assim, o contributo das aberrações marginais relacionado com a abertura do ângulo visual e o posicionamento do observador exploradas por Piero della Francesca (anamorfose oblíqua de um cálice) e Leonardo da Vinci (olho e cabeça de criança em anamorfose) começam a ser utilizadas em algumas obras de arte, designadamente, por Hans Holbein, o Jovem em “Os Embaixadores” de 1533. Esta obra encerra o exemplo mais paradigmático desta técnica, onde o crânio em projeção anamórfica procura negar as convenções usuais do olhar do observador que se posiciona frontalmente e vê a imagem num campo limitado de raios visuais – trata-se de uma técnica de rutura, deformação e visão excêntrica (Collins, 1992) (cf. Figura 3.19).

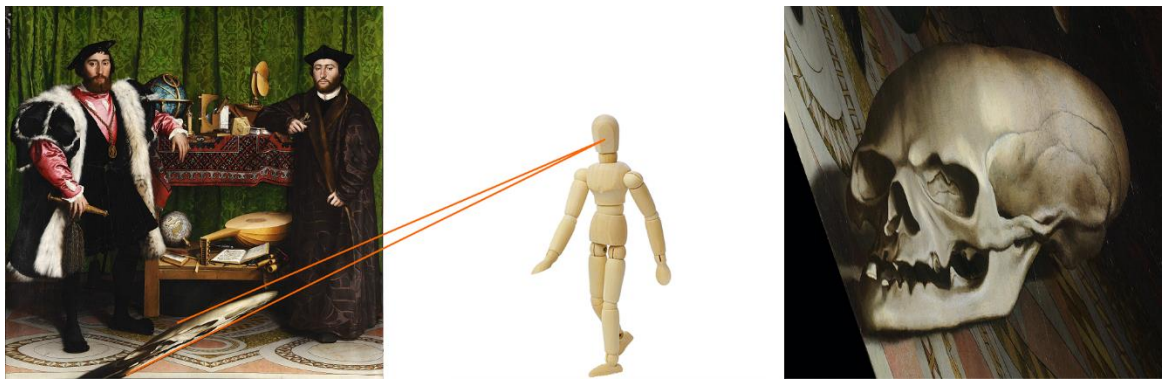


Figura 3.19 Anamorfose da caveira em “Os Embaixadores” (Hans Holbein)

Para além das possibilidades artísticas que este fenómeno encerra, esta abordagem perspéctica traduz o reconhecimento da complexidade da *perspectiva artificialis* (validada pela experiência artística da época) e reflete um rasgo de sensatez ao fazer vacilar, positivamente, a confiança até então inabalável na perspectiva enquanto processo de captação fidedigno da realidade. Contrariamente ao que se poderia supor, a exploração desta prática contribuiu significativamente para que se fizesse uma utilização plena da perspectiva, na busca desses mesmos objetivos porque sabiamente controlada (Xavier, 2004).

A imagem submetida a este tipo de distorção de perspectiva depende, ainda, do paradigma clássico euclidiano que sugere que a luz viaja em linha reta e que, quando refletida a partir de um objeto, intersecta uma superfície plana, (re)inscrevendo a fonte de visão do objeto

físico. Assim, no quadro de Hans Holbein – Jean de Dinteville e Georges de Selve – também conhecido como “Os Embaixadores”, atualmente exposta na *The National Gallery*, em Londres – o observador estaria posicionado num ângulo radicalmente oblíquo em relação ao plano da imagem, já que olhar corretamente a obra produz proporções aparentemente defeituosas em determinada parte da pintura.

Como prova exagerada do “cone visual” (monocular), para superar os efeitos corretivos da anamorfose resultante da visão binocular humana, o observador teria que fechar um olho para obter a reformulação da imagem original. Esta segunda posição remete o observador a aproximadamente dois metros e meio à esquerda da pintura e virtualmente paralelo ao quadro. Olhando ligeiramente para baixo a deformação da caveira assume a sua legibilidade pictórica. De resto, esta obra que marca também um momento histórico (Movimento Reformista e Cisma da Igreja de Inglaterra) retrata com um realismo impressionante todos os pormenores da composição, nomeadamente, na exatidão de cada contorno, bem como nos reflexos e nas sombras.

Wenzel Jamnitzer (1508-1585) - Perspectiva corporum regularium

Ao sucesso da obra de Albrecht Dürer “*Unterweisung der Messung*” seguiram-se outras contribuições teóricas para o estudo da perspetiva e da geometria. Pela sua pertinência, destacamos também o trabalho de Wenzel Jamnitzer (1508-1585)⁷⁰, publicado em 1568, intitulado *Perspectiva corporum regularium*⁷¹. Trata-se de um livro que apresenta uma série de gravuras que ilustram composições complexas de corpos regulares e irregulares perfeitamente desenhados em perspetiva (cf. Figura 3.20).

No processo de representação em perspetiva Wenzel Jamnitzer usou um dispositivo mecânico que foi descrito por Jost Amman por volta de 1565.

⁷⁰ Natural de Viena, Wenzel Jamnitzer artista e gravador em gravura, estabeleceu-se em Nuremberga como ourives e produziu joias com grande habilidade, um estilo baseado no Renascimento italiano.

⁷¹ Encontramos uma cópia de *Perspectiva corporum regularium* no *Metropolitan Museum of Art*.

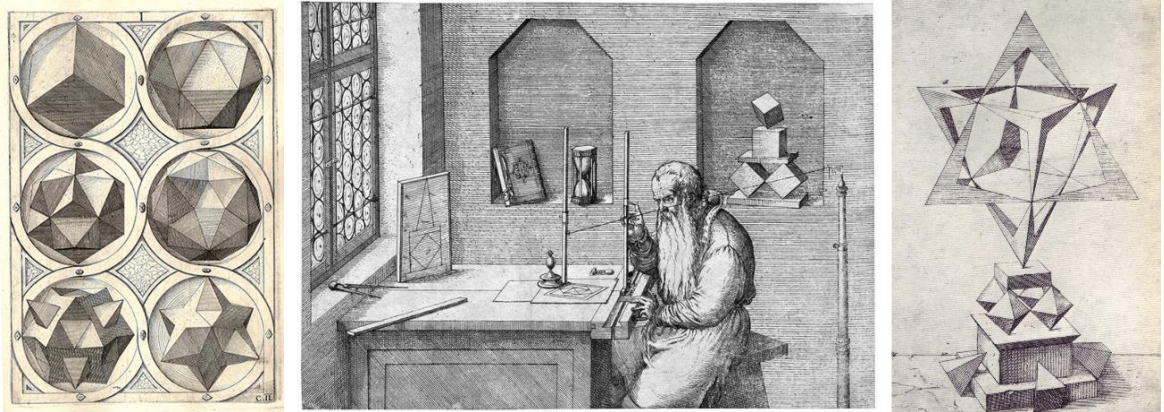


Figura 3.20 Desenho de sólidos em perspectiva de Wenzel Jamnitzer (Jost Amman)

Na figura anterior Jamnitzer⁷² é retratado usando um mecanismo para desenhar em perspectiva, presumivelmente da sua autoria. Nesta máquina de perspectiva a ideia do fio visual deriva certamente do *sportello* de Dürer, contudo, trata-se de uma nova concepção em que o fio passava por um ilhó no topo de um suporte que servia de ponto de vista. Consiste num aparelho substancialmente distinto dos propostos por Albrecht Dürer, e funcionava de forma completamente inovadora, permitindo retratar um objeto do qual o pintor só possuía a representação em planta e em alçado (cf. Figura 3.21).

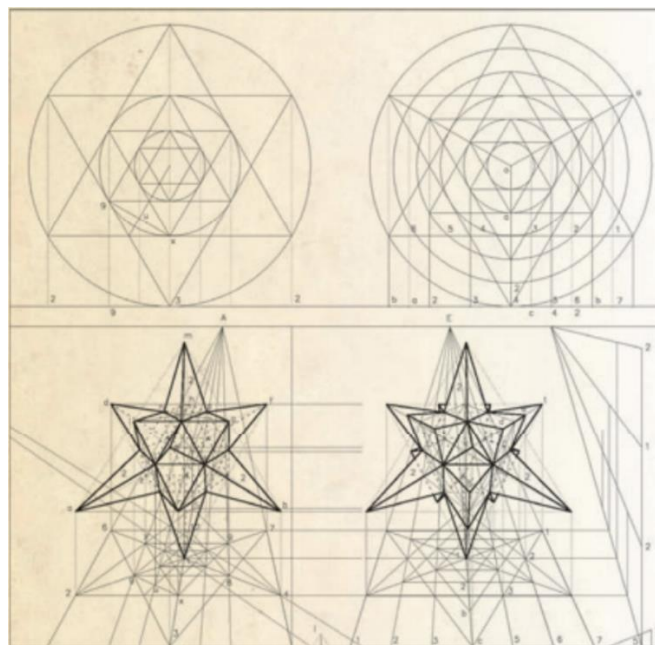


Figura 3.21 Reconstituição de perspectiva de Wenzel Jamnitzer (Andres Martin-Pastor)

⁷² Retrato de Wenzel Jamnitzer com sua máquina de perspectiva (1565) produzido por Jost Amman. Rijksmuseum, Amsterdão.

Giacomo Vignola (1507-1573) – Prospetiva prática

Um dos grandes arquitetos italianos do estilo maneirista do século XVI que contribuiu para a divulgação do estilo italiano na arquitetura foi Giacomo Vignola. A publicação do seu tratado *Regola delli cinque ordini d'architettura*⁷³, de 1562, tornou-se um dos mais populares tratados na história da arquitetura, pela sua clareza e ilustração, onde expõe a sua interpretação das ordens arquitetónicas através de uma abordagem das colunas presentes na arquitetura clássica. No entanto, a importância de Vignola deve-se também à sua obra *Le due regole della prospettiva pratica*⁷⁴ de 1583, publicada dez anos após sua morte por Ignazio Danti, professor de matemática em Bolonha. Precedido de uma introdução científica sobre a teoria da visão e das bases da perspectiva, incluindo uma compilação de máquinas para desenhar, desenvolvido por Egnazio Danti, o tratado continua com a exposição da “primeira regra de perspectiva”, que corresponde à *costruzione legittima* de Alberti, e depois a sua “segunda regra, método do ponto de distância”, denominada *costruzione con il punto della distanza*, que serve uma aplicação mais prática em elementos arquitetónicos de superfícies curvilíneas (cf. Figura 3.22).

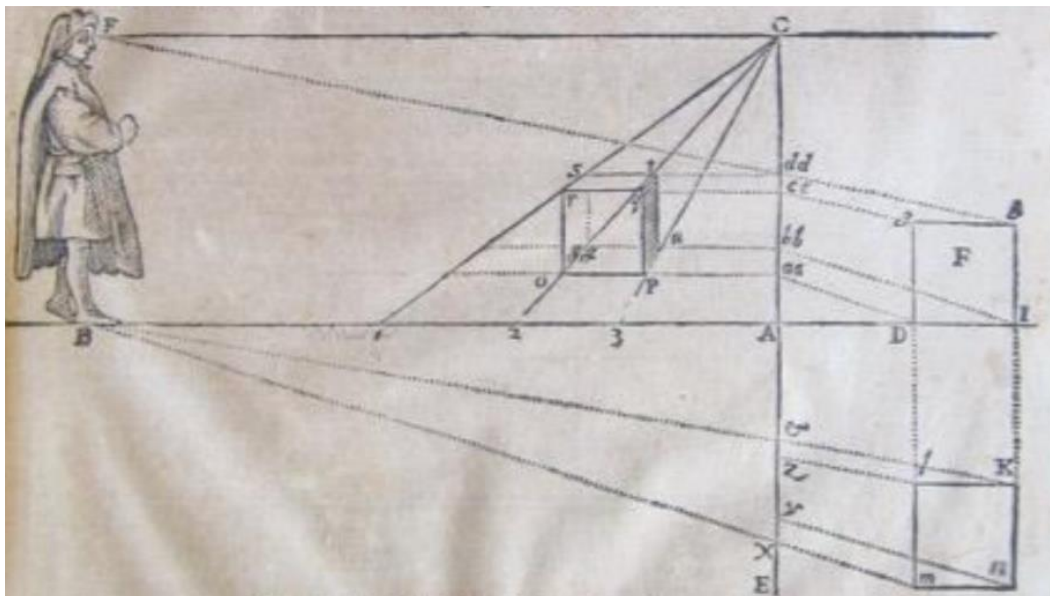


Figura 3.22 *Le due regole della prospettiva pratica* (Vignola)

⁷³ <https://archive.org/details/ordinidarchitett00vign/page/n39/mode/2up>

⁷⁴ <https://archive.org/details/dveregoledellapr00vign>

Neste tratado, Vignola defende uma justificação naturalista da perspetiva linear, explicando a anatomia e a fisiologia do olho humano. A obra demonstra que Vignola se dedicou também à invenção e divulgação dos próprios perspetógrafos, onde inclui também um apontamento sobre anamorfose que intitula “*Di quelle pitture che non si possono vedere che cosa siano, se non si mira per il profilo della tavola dove sono dipinte*”⁷⁵ (Danti, 1583, p. 96).

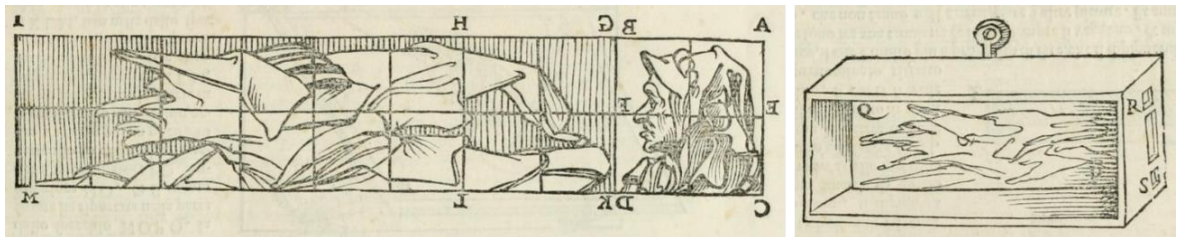


Figura 3.23 Anamorfose plana de Vignola (Ignatio Danti)

Neste caso, aparentemente, a descrição para a construção da anamorfose não respeita o ponto de distância já que não é considerado a aumento da quadricula. Na execução destes trabalhos seria usada uma técnica semelhante ao método *spolvero*, descrito por Barbaro, que consiste na projeção de um desenho picotado (semelhante à portinhola de Dürer) a partir de um foco de luz (Danti, 1583, p. 96), ou seja, posiciona-se uma fonte luminosa no centro de projeção (olho príncipe-sublime), que corresponde ao ponto de vista privilegiado, verificando-se, finalmente, os pontos de luz projetados sobre a superfície onde será desenhada a anamorfose (Trindade, 2013, p. 35).



Figura 3.24 Perspetógrafo de Vignola

A obra de Vignola *Le due Regole della Prospettiva Pratica* prossegue com anotações de Ignazio Danti, que procura ilustrar diversas máquinas de

⁷⁵ *Le due Regole della Prospettiva Pratica* de Giacomo Barozzi da Vignola, por Egnatio Danti, 1583.

desenho para *Le due regole* (cf. Figura 3.24). Contudo, a mais emblemática máquina para desenhar em perspectiva, (figura ao lado), demonstra a enorme confiança depositada na tecnologia como meio para representar a realidade, tendo ficando conhecida como o perspetógrafo de Vignola (Maia, 2011).

Ignazio Danti apresenta, ainda, um esquema comparativo da secção plana da pirâmide visual com a superfície curvilínea do dispositivo de Baldassarre Lanci (1510-1571)⁷⁶ (cf. Figura 3.25).

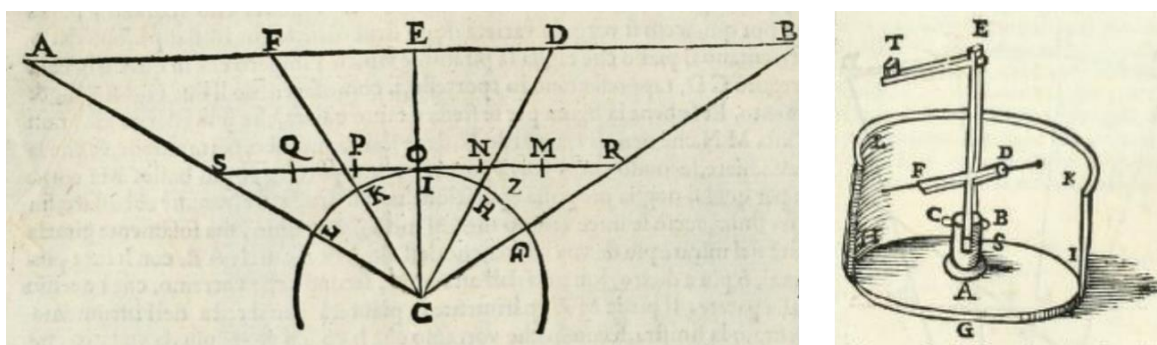


Figura 3.25 “Pirâmide visual com a superfície curvilínea do dispositivo de Baldassarre” (Ignatio Danti)

Baldassarre criou um perspetógrafo que substituiu a superfície de interseção plana do cone visual por uma parede circular equidistante ao olho, mais precisamente, uma parede cilíndrica tangente a uma esfera da qual o olho (materializado no pino do furador) ocupa o lugar do centro de observação. Retomaremos no próximo capítulo as potencialidades da representação em superfície curva para a realização de perspectivas imersivas potenciadas pelos atuais dispositivos de RV.

Ludovico Cardi – Cigoli (1559-1613) – Trattato della Prospettiva Pratica

A aproximação da ciência com a arte durante o período do Renascimento originou uma interessante cooperação entre o artista Ludovico Cardi, também conhecido como Cigoli (1559-1613) e o físico Galileu Galilei (1564-1642). A testemunhar esta aproximação

⁷⁶ Baldassarre Lanci (1510-1571) foi um arquiteto italiano, cenógrafo, inventor e mestre da perspectiva do período renascentista. Nasceu em Urbino e passou a maior parte de sua vida na Toscana.

destaca-se o fresco de Cigoli na cúpula da Basílica de *Santa Maria Maggiore*, em Roma, onde se pode observar a lua de Cigoli que apresenta crateras tais como foram observadas por Galileu (Kemp, 1991; Booth & Helden, 2008; Neves & Silva, 2008; Cotterell, 2018) (cf. Figura 3.26).



Figura 3.26 “Imaculada Conceição na Capela Paulina”, Santa Maria Maggiore (Cigoli, 1612)⁷⁷

Esta pintura permite compreender o trabalho conjunto de Cigoli e Galileu Galilei sobre a ciência pós-coperniana, designadamente, na utilização da perspetiva para o deslumbramento do olhar, a ilusão da perspetiva, bem como a criação de uma visão planetária (heliocêntrica) do universo (Neves & Silva, 2008). Esta cúpula pintada por Cigoli é também importante porque apresenta uma morfologia pictórica inovadora para a época, com características semelhantes a uma anamorfose esférica (Kemp, 1991).

Ludovico Cardi – Cigoli – tornou-se um grande teórico da perspetiva ao escrever o *Trattato della Prospettiva Pratica*, seguindo uma exposição clara e amplamente ilustrada que conduz o leitor pela árdua teoria da ótica e da geometria, para depois revela os segredos do desenho de anamorfoses em abobadas, bem como a utilização de instrumentos de cenografia teatral (Camerota, 2006). A obra reflete, ainda, a colaboração entre Cigoli e Galileu Galilei que abriu as portas a uma nova representação artística influenciada pela ciência, em boa medida influenciada pela possibilidade de observar a lua através de um telescópio e a insatisfação com os dispositivos tradicionais (como a portinhola) que considera imprecisos e imperfeitos. Deste modo, Cigoli concebeu diversas versões de um

⁷⁷ Figura da esquerda e do centro (<https://www.flickr.com/photos/hen-magonza/4644220837/>). Figura da direita (<https://www.finestresullarte.info/en/works-and-artists/cigoli-and-his-immaculate-conception-with-galileo-s-moon-in-the-basilica-of-santa-maria-maggiore>).

mecanismo que permitia desenhar objetos distantes com a mesma precisão que era exigida pelas regras geométricas no desenho de objetos próximos (Camerota, 2013).

A codificação da perspectiva do Renascimento é consolidada em torno de duas regras fundamentais: a chamada "*construção legítima*" de Brunelleschi, baseada na intersecção da pirâmide visual em planta e elevação, e o que Albrecht Dürer chamou de "o caminho mais curto", ou seja, a construção com um ponto de distância. Essas regras permitiam que apenas objetos próximos e definidos geometricamente fossem desenhados. Todo o resto, da figura humana à paisagem, escapavam a qualquer controlo geométrico e dependiam inteiramente da habilidade do artista. A necessidade de lidar com o que evidentemente parecia ser uma inconsistência operacional macroscópica leva gradualmente à definição de uma terceira regra, como define Ludovico (Camerota, 2013). Assim, o contributo de Cigoli haveria de ficar marcado pela questão relativa ao desenho de objetos não geométricos. No seu *Trattato della Prospettiva Pratica* definiu *la terza regola* baseada no uso metódico e consciente das ferramentas e na construção de uma máquina flexível e prática, mas também equipada com um alto grau de precisão (Kemp, 1990).

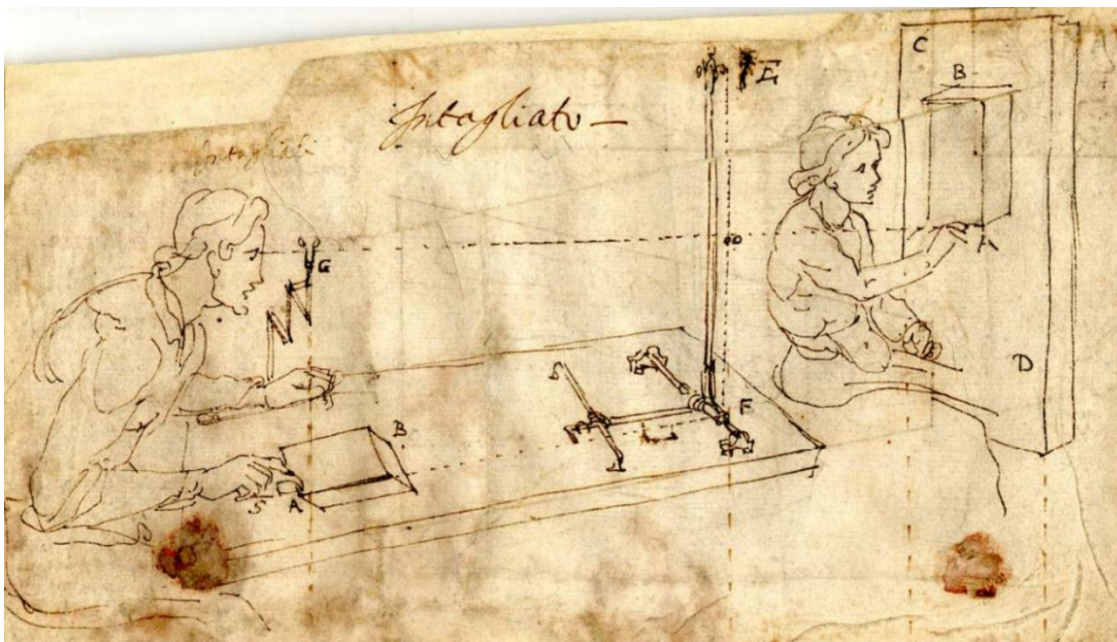


Figura 3.27 “Dispositivo perspético de Lodovico Cigoli”, London, British Museum⁷⁸

⁷⁸ https://www.britishmuseum.org/collection/object/P_1933-0310-7

No seu perspetógrafo duas hastes são rigidamente ligadas formando um ângulo (qualquer) entre elas que deslizam ao longo de uma guia horizontal. A primeira haste percorre a folha sobre a qual se desenha com um lápis ligado (por meio de fios) a uma esfera móvel presa à segunda haste que, arrastada pela primeira, descreve a pintura virtual. Ao mover o lápis, o desenhador manobra o sistema das duas hastes e a esfera, de modo a descrever o movimento sobre todo o contorno do objeto a ser reproduzido, enquanto observa através de uma ocular (cf. Figura 3.27).

Do ponto de vista morfológico, o instrumento mostra analogias claras com os perspetógrafos que lhe antecederam, mas a nível operacional a invenção é inteiramente original, na medida em que permitia ser usada para ampliar um desenho sobre uma parede ou mesmo numa abóbada. A imagem à direita ilustra o método prático de Cigoli para o desenho de perspetiva em superfícies curvas (Camerota, 2010). Para esta última operação, Cigoli concebe a possibilidade de inclinar a haste da seção para controlar o desenho das verticais na superfície curva da abóbada, uma possibilidade técnica que permite ao artista usar este dispositivo para desenhar as anamorfozes. Ao

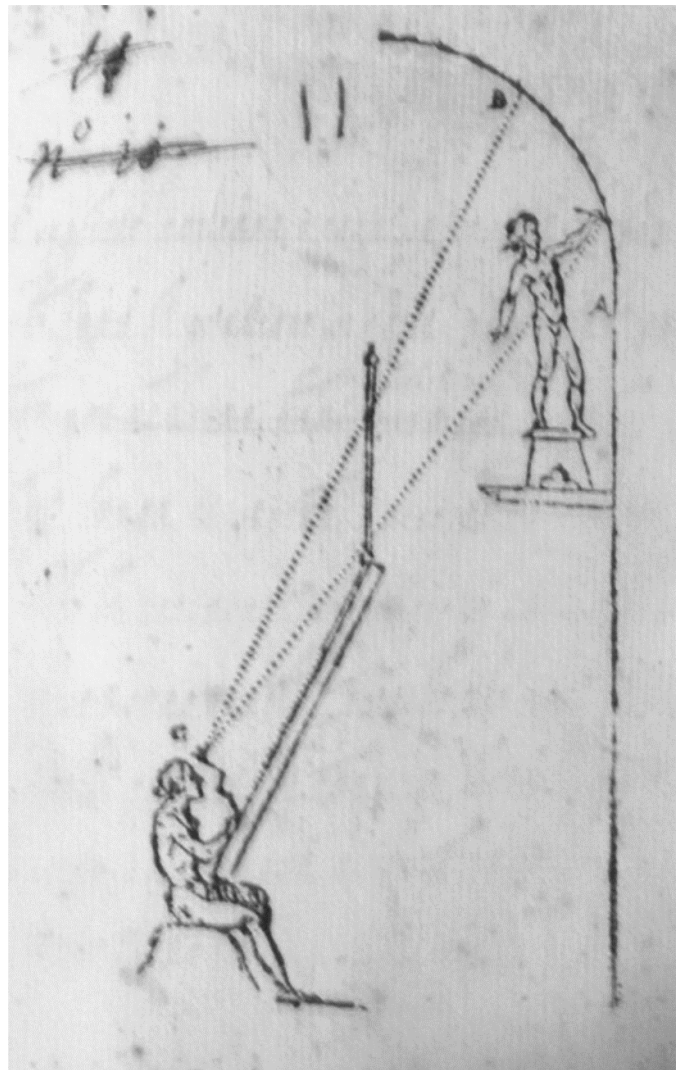


Figura 3.28 Detalhe do “Dispositivo perspético de Lodovico Cigoli”, London, British Museum

retratar um objeto com a seção inclinada, obtém-se uma imagem deformada que recupera as proporções corretas quando vista de um ponto de vista preciso.

Jean-François Nicéron (1613-1646) – La perspective curieuse

A habilidade técnica desenvolvida por Cigoli para desenhar anamorfoses é também retomada por Jean-François Nicéron⁷⁹ que se tornou um artista com notoriedade, sobretudo, pelo interesse que demonstrou na aplicação da anamorfose na arte religiosa. Ciente de todos os desenvolvimentos teóricos e preocupado em encontrar uma solução científica para os problemas apresentados pela perspectiva, elaborou os algoritmos geométricos para a produção de arte anamórfica que, publicou no tratado *La Perspective curieuse ou magie artificielle des effets merveilleux* (1638) e, ainda, no manual prático *Thaumaturgus opticus, seu Admiranda Optices, per radium directum: Catoptrices, per reflexum è politis corporibus, planis, cylindricis, conicis, polyedris, polygonis & aliis: Dioptrices, per refractum in diaphanis* (Paris, 1646) onde oferece ao leitor um perfeito equilíbrio entre o rigor matemático e o gosto pelo maravilhoso e surpreendente (De Rosa, 2016).

Na sua obra Nicéron demonstra ter um conhecimento atualizado das teorias de Galileu, Kepler e Descartes, designadamente, no que diz respeito à fisiologia da visão. No tratado *La Perspective curieuse* compara o funcionamento do olho humano ao da câmara escura (câmara pinhole, máquina fotográfica sem lente), demonstrando conhecer a função do cristalino que, no processo de visão, focaliza a imagem invertida na superfície da retina. Em *Thaumaturgus opticus*, uma versão ampliada do tratado a *La perspective curieuse*, Nicéron explica o funcionamento de algumas máquinas de perspectiva ilustrando um método onde fios retos são usados para materializar raios visuais e desenhar grandes imagens anamórficas (cf. Figura 3.29).

⁷⁹ Jean-François Nicéron estudou matemática com Marin Mersenne (1588-1648) no College de Nevers em Paris, França e ingressou na Ordem dos Mínimos em 1632. A fama adquirida após a sua estadia em Roma como professor de matemática no convento dos *Minimi em Trinità dei Monti* e a publicação do tratado *La perspective curieuse*, em 1638.

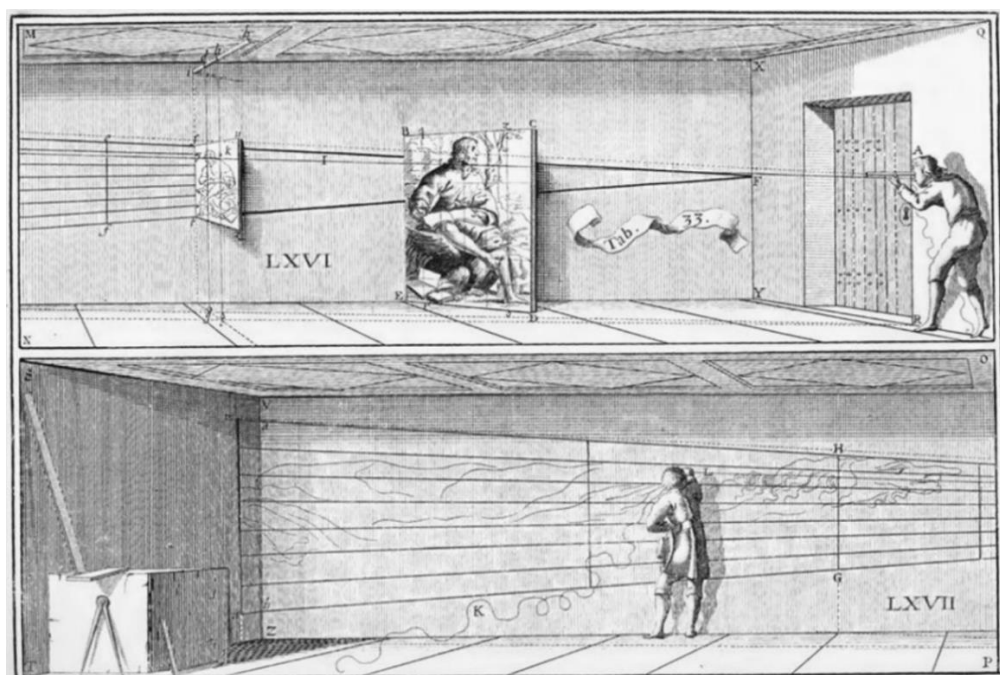


Figura 3.29 Estrutura anamórfica a partir do *Thaumaturgus Opticus* (Niceron⁸⁰)

A anamorfose da perspectiva de um ponto encontra-se claramente descrita no tratado de Nicéron. A imagem anterior ilustra o processo de desenhar qualquer tipo de figura, imagem ou pintura para que seja perfeitamente reconhecível (apenas) a partir do ponto de projeção, recuperando, assim, a regra da *costruzione legittima* e dos pontos de distância. Para obter uma anamorfose plana (oblíqua) Nicéron serve-se também de grelhas ortogonais auxiliares (cf. Figura 3.30).

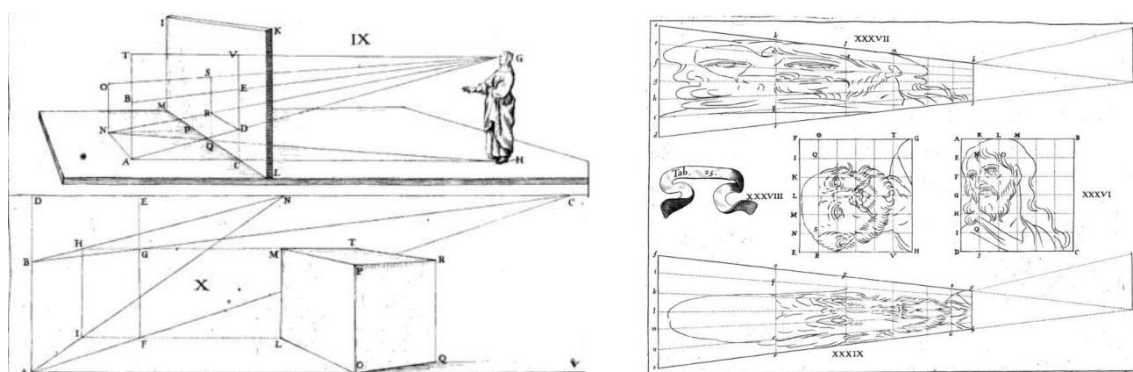


Figura 3.30 “A construção geométrica da anamorfose” (Niceron⁸¹)

⁸⁰ Gravura com a demonstração do método para representar uma anamorfose numa superfície plana (vertical) por Jean François Nicéron, *Thaumaturgus Opticus* (Tab. 33, Fig. LXVI and LXVII), Paris, 1646.

⁸¹ Jean-François Nicéron, *Thaumaturgus opticus*, pp. 263 e 303.

Jean-François Nicéron propõe, ainda, dois métodos para projetar uma linha vertical (*plumb line*) numa abóbada. No primeiro caso, ele sugere colocar o olho no ponto de vista original e marcar os pontos ocultos da abóbada com o auxílio de uma haste com um carvão na extremidade. No segundo método, Nicéron sugere colocar uma vela no ponto de vista original (centro de projeção) e marcar a sombra projetada na abóbada através de fios esticados. Também os diagramas concebidos por Nicéron para serem projetivamente consistentes tornam-se uma referência obrigatória para o complexo mundo da anamorfose catóptrica. As novas formas de anamorfose, munidas de regas matemáticas e geométricas tornaram a sua prática mais precisa e eficiente, permitindo uma aplicação em superfícies complexas (pirâmides, cones, cilindros, superfícies espelhadas...).



Figura 3.31 Detalhe do frontispício da obra *La Perspective Curieuse, ou Magie artificielle des effets merveilleux...* (Nicéron, 1638)

Na Figura 3.31, um detalhe do frontispício da obra *La Perspective Curieuse, ou magie artificielle des effets merveilleux...*, de J. F. Nicéron, em Pierre Billaine, Paris 1638.

Andrea Pozzo (1642-1709) – Perspectiva pictorum et architectorum

Andrea Pozzo⁸² é um artista incontornável no estudo da perspectiva e anamorfozes. Ficou duplamente famoso como criador da magnífica pintura em *trompe l'oeil* no teto da Igreja de St Inácio, em Roma, e como autor do tratado *Perspectiva pictorum et architectorum*, publicado em 1693. Neste tratado sistematizou as suas técnicas e ensina como executar uma pintura ilusionista sobre abóbadas e tetos em perspectiva linear por meio do “ponto de distância”. A sua obra espalhou a influência do barroco italiano por toda a Europa e, fruto da presença missionária, é possível encontrar também marcas no Oriente e na

⁸² Pozzo nasceu em Trento, nos Alpes italianos, em 1642, onde recebeu a sua primeira formação como artista. Seguiu depois para Milão onde ingressou na Companhia de Jesus em 25 de dezembro de 1665, permanecendo como irmão leigo jesuíta por toda a vida.

América Latina. Pozzo é um artista memorável e extraordinariamente versátil, trabalhando como arquiteto, pintor, decorador e teórico da arte. Em Roma, Andrea Pozzo está intimamente associado ao corredor afrescado do Colégio de *Gesù*, aos frescos (bodas de Caná) no refeitório do convento *Trinità dei Monti* e nas *trompe l'oeil* da Igreja de *Sant'Ignazio*, onde combina elementos de arquitetura com a pintura ilusória para conceber um ambiente virtual ou de realidade mista (Araújo, 2017a). Com as devidas adequações, falamos de uma realidade mista do ponto de vista tecnológico à luz das atuais tecnologias de RV e RA. No entanto, na época o expediente da representação pictórica em perspectiva servia outros propósitos, ao mesmo tempo que se inspira no espaço real, modifica consideravelmente as suas características físicas, construindo um novo quadro arquitetónico como lugar onde coexistem o mundo real e o mundo divino.

A glorificação de Santo Inácio executada por Andrea Pozzo no final do século XVII na igreja dos jesuítas em Roma, na abóbada da nave (superfície curva) capta o raio de luz que vem de Deus e o irradia para os quatro cantos do mundo (cf. Figura 3.32). Perto do final de *Perspectiva pictorum et architectorum*, Andrea Pozzo descreve em detalhe a pintura que executou em Santo Inácio, e como focalizou simbolicamente a construção da perspectiva para coincidir com o centro da cena. O raio de luz divina sugere as realizações evangélicas da Companhia de Jesus. De facto, Pozzo sublinha as ambições do evangelismo católico romano, acrescentando nos quatro cantos do teto as figuras alegóricas da Ásia, África, Europa e América.



Figura 3.32 “Representação dos Quatro Continentes” na nave da Igreja de Sto. Inácio, em Roma (Pozzo)⁸³

⁸³ <https://www.meisterdrucke.pt/artista/Andrea-Pozzo.html>

Na decoração do teto Andrea Pozzo usou técnicas de ilusão que explica, no seu tratado, com o método da grade de cordas na abertura da abóbada de berço. Para a projeção dos pontos de intercessão da grade, Pozzo complementou os feixes de luz com cordas esticadas da posição 'O' (olho do observador) projetadas na abóbada de berço (Camerota, 2012). De seguida traça com carvão as linhas definidas pelas sombras, de modo a obter uma grade em perspectiva anamórfica que se adapta ao desenho previamente elaborado.

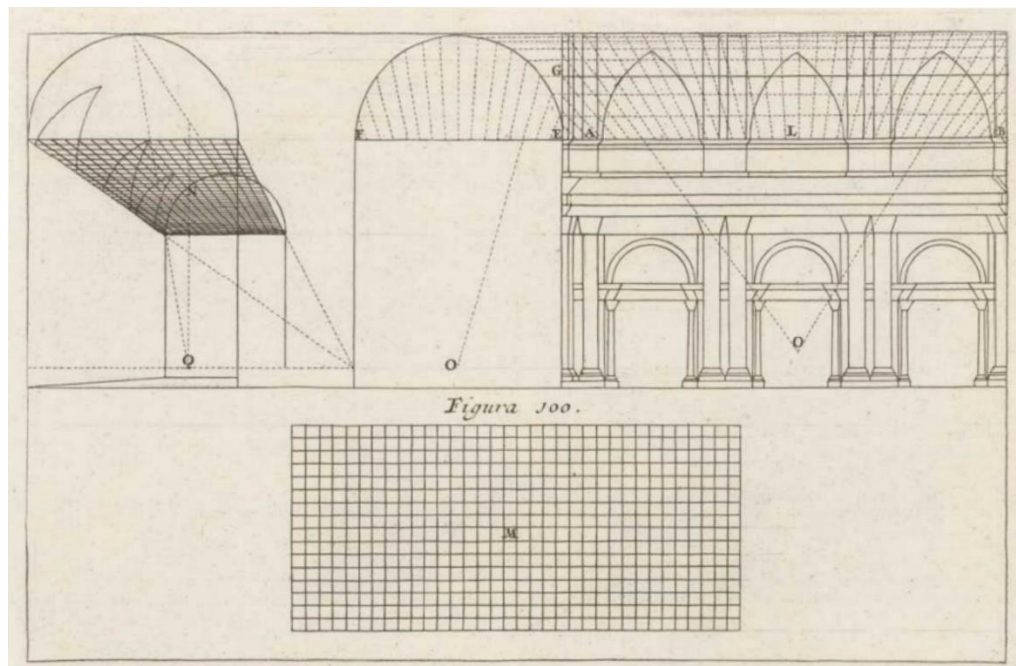


Figura 3.33 “Construção da falsa cúpula usando elementos de perspectiva”⁸⁴ (Andrea Pozzo)

O resultado final da ilusão é tão convincente que, da posição distante do observador, a forma real do teto abobadado é quase impossível de se distinguir, proporcionando uma “renderização” que integra elementos arquitetónicos com a pintura. Pozzo adotou a *costruzione legittima* para a representação de objetos em superfícies planas que se ajustassem facilmente à superfície pictórica, nos casos em que o objeto é regularmente geométrico ou quando o aparato de linhas e pontos de distância para o colocar em perspectiva pudesse ser ajustado à superfície pictórica. No entanto, pôs em prática um

⁸⁴ Andrea Pozzo, *Perspectiva pictorum et architectorum*, 1693 (Figura centésima, p. 221). Original na Biblioteca Pública de Lyon (digitalizado em março de 2012). https://books.google.pt/books/about/Perspectiva_pictorum_et_architectorum_A.html?id=034eftMBlogC&redir_esc=y

método simplificado de distâncias pontuais, quando precisava de representar corpos complexos, redondos ou muito irregulares, ou não tinha a possibilidade de realizar todo o protocolo de linhas visuais e ponto do observador, que substituía por um segundo ponto de distância (Fuentes Lázaro, 2016).

Com o seu método Andrea Pozzo alterou as formas arquitetónicas pré-existentes em imagens perspéticas que apelam a numa Realidade Mista, onde o conteúdo representado interfere na compreensão do espaço habitado pelo observador apelando a expedientes ilusórios capazes de fazer evidenciar uma nova realidade (Coelho, 2015). Sobre esta possibilidade artística da perspetiva, é o próprio Andrea Pozzo que esclarece no seu tratado *Perspectiva pictorum et architectorum* que “a arte da perspetiva com gosto admirável engana o mais consciente dos nossos sentidos externos que é a visão; e é necessária para quem na pintura quer dar a posição e a diminuição certa às figuras; e a maior ou menor vivacidade que convém às cores e às sombras.” (Pozzo, 1693, p. 19).



Figura 3.34 Prolongamento das colunas de pedra com a pintura (Andrea Pozzo)⁸⁵

Andrea Pozzo marcou com uma pedra de cor diferente o pavimento do templo, assinalando o ponto que garante ao espectador o lugar mais conveniente para contemplar a pintura.

⁸⁵ <https://www.meisterdrucke.pt/artista/Andrea-Pozzo.html>

Assim, posicionado neste ponto, e olhando para cima para admirar os frescos da nave, o observador tem uma extraordinária percepção da tridimensionalidade de toda a composição. As cenas pintadas pelo artista, representando a glorificação de Santo Inácio, revelam um extraordinário jogo de perspectiva, que faz parecer a nave da igreja muito alta, criando a sensação de que as figuras se estendem para lá do teto físico e se dirigem para o infinito (céu) (cf. Figura 3.34).

Outra das ilustrações de Andrea Pozzo descrita em *Perspectiva pictorum et architectorum* pode ser contemplada na mesma igreja de St. Inácio, a grande cúpula projetada por Grassi que não foi construída (talvez por falta de fundos). Pozzo pintou o teto plano em perspectiva para dar a ilusão de que se estava a olhar para o interior de uma cúpula verdadeira. A importância do projeto da cúpula de Santo Inácio levou Pozzo a incluir os procedimentos da sua construção em ambos os volumes de seu tratado sobre perspectiva (1693 e 1700), e que passa pela representação em planta e alçado (cf. Figuras 3.35 e 3.36).

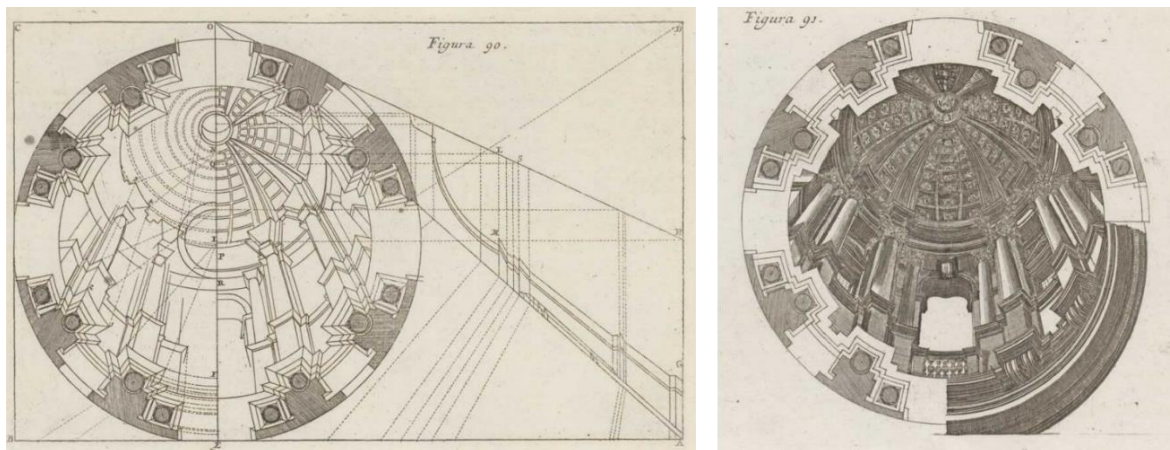


Figura 3.35 Construção da falsa cúpula usando elementos de perspectiva⁸⁶ (Andrea Pozzo)

Este *modus operandi* destaca o carácter marcadamente projetual da obra de Pozzo em que a representação pictórica deriva de um projeto arquitetónico (Baglioni & Salvatore, 2019). No entanto, a criação de Pozzo não depende formalmente do projeto original, estando livre de normas técnicas e lhe confere maior plasticidade, permitindo uma articulação de planos

⁸⁶ Andrea Pozzo, *Perspectiva pictorum et architectorum*, 1693 (Figura nonagésima, p. 201 e figura nonagésima prima, p. 203).

marcados pela saturação de elementos cuidadosamente combinados, já que a função era sobretudo estética e menos funcional (Fuentes Lázaro, 2016).



Figura 3.36 Falsa cúpula na Igreja de Santo Inácio, em Roma (Andrea Pozzo)

O teto é realmente plano e a perceção é distorcida se o observador se desloca para outros pontos da igreja, contudo, a ilusão ótica é simplesmente perfeita.

Brook Taylor (1685-1731) – New Principles of Linear Perspective

O conhecimento teórico e prático da perspetiva ficou, também, marcado pelo matemático Brook Taylor que escreveu sobre a teoria matemática da perspetiva, dando a primeira declaração geral de pontos de fuga como materialização gráfica do infinito. O seu tratado publicado em duas obras – *Linear Perspective* (1715) e *New Principles of Linear Perspective* (1719) – ocupa um lugar de destaque na história da perspetiva linear e consagra definitivamente as bases para a teoria da geometria descritiva e projetiva. O tratado de Taylor evidencia dois aspetos importantes, na medida em que, assinala, a partir do início do século XVII, o desenvolvimento de uma teoria matemática direcionada para resolver problemas básicos de perspetiva e, simultaneamente, constitui uma inspiração para estudar problemas de geometria projetiva. O segundo aspeto diz respeito ao problema da transmissão do conhecimento adquirido pelos matemáticos aos praticantes. Brook Taylor

foi, talvez, o primeiro matemático a conseguir fazer com que os praticantes se interessassem em ensinar os fundamentos teóricos da perspetiva linear, definindo-a como “the art of describing exactly, on paper, canvas, or any surface, the representations of any given objects as they would appear from any given point” (Taylor, 1835, p. 1). Assim, a perspetiva passa a ser considerada uma técnica gráfica e não apenas uma arte, sendo teorizada como tal por Brook Taylor em *New Principles of Linear Perspective* (1719) e, mais tarde por Gaspard Monge na sua obra *Géométrie Descriptive* (1799).

3.1 Integração educativa da perspetiva e da anamorfose nas tecnologias digitais

Em suma, podemos referir que a teoria e a prática da perspetiva linear, desenvolvida nos múltiplos tratados, que brevemente apresentamos neste capítulo, conduziu à sua utilização recorrente, sobretudo nos séculos XV-XVII, tendo resultado em criações artísticas espetaculares, designadamente, em representações ilusórias sobre paredes e tetos. Deste modo, podemos assegurar que o desenvolvimento teórico na técnica da perspetiva linear levou a mudanças profundas nas representações pictóricas. No entanto, abriu, também, um campo teórico reclamando, por artistas e matemáticos, onde se procura estabelecer os pressupostos geométricos para uma representação objetiva e, simultaneamente, a habilidade de representação da tridimensionalidade no plano bidimensional.

A representação da terceira dimensão assume uma expressão em espaço ilusório, sobretudo com os desenvolvimentos da perspetiva no Renascimento, passando a constituir o modelo dominante de representação do espaço nas criações pictóricas e arquitetónicas. Atualmente as máquinas de representação do mundo real, sendo máquinas de desenhar, de fotografar, de vídeo, ou mesmo da recente tecnologia de RV, são, geralmente, projetadas de tal forma que possam reproduzir os efeitos obtidos pela perspetiva. Esta semelhança deve-se às características comuns entre esses dispositivos e as regras da perspetiva linear, nomeadamente, o conceito de pirâmide visual, a visão monocular, a

projeção num plano (película fotográfica ou sensor CCD⁸⁷) e, ainda, as objetivas que não distorcem as verticais. Existem, porém, algumas exceções a essa semelhança, como é o caso da estereoscopia, da holografia ou, mais simplesmente, das lentes de distância focal muito curta, do tipo "olho de peixe" como analisaremos mais adiante. Contudo, este tipo de tecnologias de uso cotidiano pela generalidade das pessoas requer uma atenção especial no âmbito da educação escolar sob pena de permanecer oculta do ponto de vista da compreensão do seu funcionamento. Defendemos, portanto, que a tecnologia digital que oferece aos alunos diversos tipos de ferramentas, novas e altamente eficientes, que facilita a autoaprendizagem é facilmente contextualizada na abordagem dos conteúdos curriculares, com ganhos evidentes na qualidade do processo de ensino-aprendizagem. Desta matéria daremos conta mais adiante na descrição e análise da fase de implementação do percurso didático realizado no âmbito da disciplina de Educação Visual, onde decorreu esta investigação. Além disso, a tecnologia digital oferece formas práticas, mais lúdicas, interativas e dinâmicas de explorar conteúdos, envolvendo os estudantes e potenciando a sua autonomia e autorregulação da aprendizagem.

⁸⁷ Os dispositivos de carga acoplada ou CCD (*charge-coupled device*) são sensores semicondutor utilizados para a captação de imagens digitais. Funcionam através de um circuito integrado que contém uma matriz de capacitores acoplados.

Capítulo 4 – PERSPETIVA E ANAMORFOSE COMO TECNOLOGIAS IMERSIVAS

A perspetiva, enquanto arte de representar objetos ou ambientes tridimensionais em superfícies bidimensionais, compreende a técnica usada para sugerir uma aparência realista de objetos desenhados considerando as suas dimensões de largura, altura e profundidade. Assim, o objetivo fundamental do desenho em perspetiva consiste em capturar⁸⁸ uma cena em que todos os objetos que a constituem estejam corretamente posicionados na relação uns com os outros e, simultaneamente, respeitando a distância entre eles e o observador. Como analisámos no capítulo anterior, os fundamentos da perspetiva linear, tal como hoje a concebemos, foram desenvolvidos a partir do início do Renascimento italiano, fundamentalmente por Filippo Brunelleschi e por Leon Battista Alberti. Os seus estudos estão na base de um sistema matematicamente concebido para representar a perspetiva na busca do realismo pictórico em que o espaço perspético se multiplica em planos segundo uma sucessão de afundamentos rigorosamente integrados, cheios de luz e de cor (Eco, 2004). Desde então, a perspetiva constitui uma poderosa ferramenta artística e científica, mas, simultaneamente, uma técnica de representação, dada a sua natureza geométrica e matemática (Coelho, 2015).

Por outro lado, no período Barroco, a perspetiva assume valor simbólico e filosófico com Ludovico Cardi – Cigoli e Galileu Galilei, que, valorizando as conquistas da ótica e da perspetiva, sugerem uma nova representação do mundo e do cosmos. No âmbito desta investigação interessa-nos sublinhar, também, a importância da anamorfose enquanto aplicação fundamental da perspetiva, amplamente explorada por Andrea Pozzo, designadamente, nos tetos da Igreja de Santo Inácio, em Roma. Esta técnica de representação permite a criação de *trompe l'oeil* através da aplicação de conceitos e operações de desenho geométrico. A monumentalidade da sua escala de representação sugere o efeito de imersão do observador num espaço real que é complementado com a ilusão pictórica. Como sublinha Umberto Eco, no Renascimento, os critérios de beleza

⁸⁸ No enfoque deste trabalho gostaríamos de não limitar este termo apenas no sentido de capturar instantes através da fotografia, mas incluir a possibilidade dinâmica da interação do espectador que as tecnologias digitais proporcionam, nomeadamente, através da RV e da RA.

assentam sobretudo na proporção das partes, mas também numa beleza inquietada e surpreendente (Eco, 2004). Esta característica que a representação anamórfica permite é, atualmente, explorada através de soluções digitais de RV e RA que proporcionam experiências imersivas aos espectadores.

4.1 Tecnologias digitais imersivas

Atualmente, as tecnologias digitais permitem a criação de realidades imersivas através de experiências de integração e imersão no mundo virtual. De um modo simplificado, a realidade imersiva é uma tecnologia que permite a criação de um ambiente virtual no qual os sentidos humanos são estimulados, de tal modo que a interação entre o utilizador e esse ambiente se aproxima de uma atividade no mundo “real”. Assim, a realidade imersiva simula experiências sensoriais com imagens 3D, som ambiente de qualidade e sensores que captam os movimentos do utilizador integrando-os no ambiente simulado. Dado que se trata de uma tecnologia em desenvolvimento, a sensação de imersão poderá ser maior ou menor quanto mais os dispositivos (*wearables*) transportarem o utilizador, designadamente através de óculos, capacetes, auriculares, luvas, coletes hápticos, etc (cf. Figura 4.1).

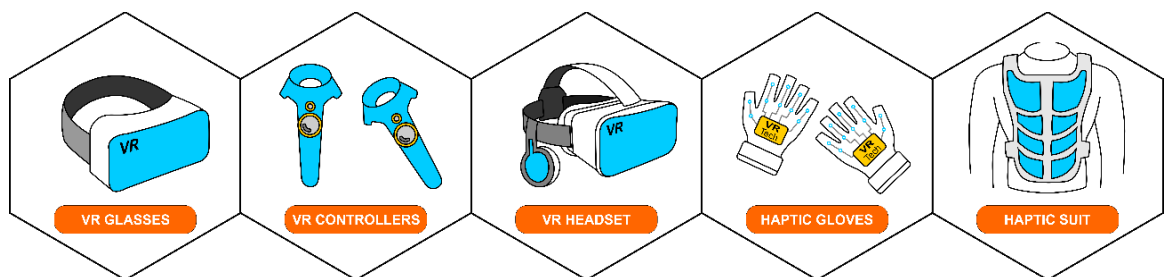


Figura 4.1 Dispositivos para realidade virtual imersiva

Deste modo, uma das condições que influencia, em boa medida, o processo de imersão é a precisamente a utilização de acessórios para equipamentos de RV. Atualmente, alguns dispositivos de RV têm por base a utilização de *smartphones* e permitem ver *renderizações* em 360° e outros mais poderosos requerem uma ligação ao computador. Deste modo, a sensação de imersão é maior à medida que dispomos de aplicações mais avançadas e

complexas, como é o caso das salas de projeção imersiva multissensorial ou mesmo a telepresença.

4.2 Realidade Virtual

Com o desenvolvimento das tecnologias digitais, o termo “virtual” tornou-se um dos mais utilizados no mundo empresarial, mas também no contexto da educação. A definição de tecnologia de Realidade Virtual (RV) está associada, por contraposição, à palavra “realidade” que se refere à nossa conotação do mundo físico externo. Uma das definições mais comuns nos dicionários para a palavra “virtual” é ser algo em efeito, mas não em nome ou forma real, isto é, não existe fisicamente no mundo. Por outras palavras, a RV traduz-se na criação de substitutos para objetos, eventos ou ambientes do mundo real que são aceitáveis para os humanos como reais ou verdadeiros.

A tecnologia de RV é, ainda, definida como o uso de computadores em tempo real, complementados com outros hardwares e softwares especiais para gerar a simulação de um mundo ou ambiente alternativo (Vince, 1998). Esta definição assenta, sobretudo, no desenvolvimento da tecnologia digital e na interface homem-máquina (computador) que deve ser imersiva, interativa, intuitiva, em tempo real, multissensorial, centrada no espectador e, ainda, tridimensional (Kalawsky, 1993; Vince, 1995; Shpitalni, 1999; Sherman & Craig, 2003).

Esta possibilidade tecnológica permitida por dispositivos especiais de RV traduz um novo paradigma de interface do utilizador com os dispositivos digitais que envolve um controlo da tridimensionalidade altamente interativo. Através de complexos processos computacionais é possível criar condições para que um utilizador se sinta envolvido pela realidade alternativa, como vivendo dentro dela, permitindo não apenas visualizar, mas também manipular e explorar conteúdos em tempo real. Na prática, se um utilizador não consegue estabelecer a distinção entre o “real” e o “virtual”, então o ambiente gerado por computador é totalmente imersivo. No entanto, como sublinha (Shpitalni, 1999), a imersão pode ser uma medida objetiva, mas a presença é muitas vezes uma sensação subjetiva do utilizador se sentir no ambiente virtual.



Figura 4.2 Realidade Virtual⁸⁹ (Adobe)

Para além de outras aplicações, a RV permite imergir em videojogos e assumir o papel dos próprios personagens. Na educação, esta tecnologia poderá melhorar o processo de ensino-aprendizagem em termos de inovação e interatividade na abordagem dos conteúdos. Na medicina permite aprender a fazer cirurgias ou outros procedimentos médicos, inclusivamente à distância. No desporto poderá ajudar a melhorar a qualidade de um treino desportivo para maximizar o desempenho. No mundo dos negócios as tecnologias imersivas aproximam os consumidores dos produtos, permitindo interagir de forma virtual com os mesmos e conhecer, de imediato, todas as suas características e funcionalidades. O crescente interesse pelo universo virtual confirma a inevitabilidade da transformação digital a uma escala planetária marcada pela emergência de novos negócios e novas plataformas de (e)comercio e de novas formas de (inter)relações sociais. Referimo-nos concretamente ao conceito de Metaverso⁹⁰ que cultiva uma relação dialética entre sensação de presença virtual e experiência de interação pessoal. As empresas que atualmente desenvolvem o Metaverso procuram novas inovações e recursos para permitir que os utilizadores interajam entre si de modo mais eficiente e eficaz no mundo digital através de experiências imersivas.

⁸⁹ <https://xd.adobe.com/ideas/principles/emerging-technology/virtual-reality-will-change-learn-teach/>

⁹⁰ A primeira aparição da palavra metaverso aconteceu no romance *Cyberpunk Snow Crash*, do escritor Neal Stephenson, publicado em 1992, que conta a história de um hacker chamado Hiro, que trabalha como entregador de pizzas, mas que cria um universo tecnológico paralelo no qual se assume como um príncipe samurai.

Este potencial das experiências imersivas ganha um novo alento com a implementação da tecnologia 5G que permite que estes ambientes digitais disponibilizem novos e sofisticados conteúdos. Além do mais, numa época que se discute a configuração de um novo ecossistema digital de inovação na educação, mais híbrido, *blended* e flexível, as tecnologias digitais e a comunicação em rede não podem ser encaradas como meras ferramentas, mas sobretudo como elementos que afetam o modo como ensinamos e aprendemos (Florini, 2015)⁹¹.

4.3 Realidade Aumentada

A Realidade Aumentada (RA) é uma variação da RV na medida em que os componentes dos sistemas são semelhantes aos utilizados na RV, contudo, não visam necessariamente a imersão dos usuários num ambiente virtual. Em vez disso, o objetivo principal dos sistemas de RA é sobrepor elementos virtuais gerados por computador sobre objetos reais no campo de visão do utilizador como se aparecessem no mundo real. Deste modo, permite combinar imagens de um ambiente real, obtidas por uma câmara digital, com objetos tridimensionais virtuais enriquecendo a experiência do utilizador (Kirner, 2004).

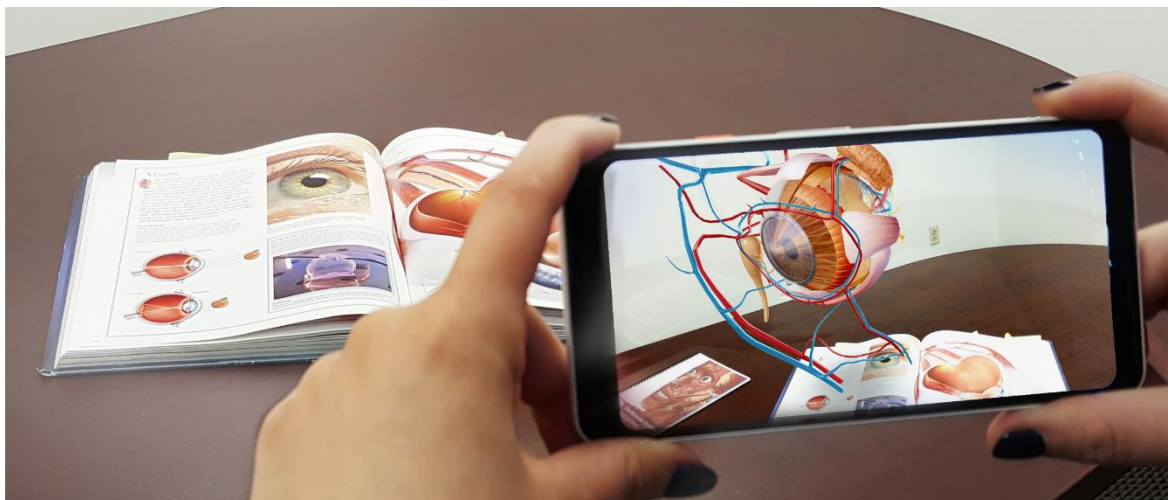


Figura 4.3 Realidade Aumentada⁹² (RubyGarage)

⁹¹ O “*The Onlife Manifesto*” aponta para uma mudança de paradigma na educação digital defendendo o fim da distinção entre o offline e o online. <https://link.springer.com/book/10.1007/978-3-319-04093-6#about>

⁹² <https://rubygarage.org/blog/augmented-reality-in-education-and-training>

Neste ambiente o utilizador tem a sensação de que objetos virtuais e reais coexistem no mesmo espaço, com a particularidade de poder interagir com os elementos virtuais como se existissem no mundo real. Nesta tecnologia o utilizador usa um STD (*see through device*), nomeadamente *smartphone* ou *tablet*, e dispensa a necessidade de modelar todo o ambiente (cf. Figura 4.3). Desta forma, economiza-se não apenas o enorme esforço de modelação do ambiente virtual, mas também se reduz a informação necessária para ser gerada e transferida em tempo real, muitas vezes apontada como a principal desvantagem tecnológica da RV. Normalmente, a maior parte do conteúdo observável pelo utilizador pertence ao mundo real. Por este motivo, os sistemas de RA não requerem placas gráficas tão avançadas quanto os sistemas de RV. A utilização de modelos 3D graficamente menos pesados permite a manipulação com equipamentos mais baratos em sistemas de RA. No entanto, uma vez que o utilizador pode observar em simultâneo o ambiente gráfico virtual e o ambiente real é provável detetar um ligeiro desalinhamento entre os dois ambientes. Se os gráficos gerados por computador não estiverem adequadamente posicionados em relação ao mundo real pode gerar um conflito visual, isto é, os objetos parecem flutuar no mundo real. Neste caso, o resultado da experiência pode tornar-se confuso e inútil, já que o sistema visual humano é extremamente sensível a captar pequenos desalinhamentos (Azuma, 1997).

4.4 Realidade Mista

Existe, no entanto, uma tecnologia híbrida — designada Realidade Mista (RM) — que combina as duas realidades, permitindo, por exemplo, ver objetos virtuais no mundo real e construir uma experiência em que o ambiente físico e o ambiente digital não apresentam distinção. Também é bastante comum as pessoas confundirem a expressão RV com a de RA.

A principal diferença entre as duas tecnologias reside no facto de que a RV criar um mundo a que acedemos com a ajuda de equipamento específico. Trata-se de um ambiente totalmente imersivo em que tudo o que vemos faz parte de uma realidade construída de forma artificial através de imagens, sons e outros estímulos sensoriais. Por outro lado, na RA o nosso próprio mundo transforma-se num espaço em que objetos e imagens são

acrescentados. Tudo o que vemos está em ambiente real e, frequentemente, não é necessário usar óculos RV. As experiências que sobrepõem gráficos, vídeos ou hologramas no mundo físico são designadas como RA. As experiências que se sobrepõem à visão para apresentar uma experiência digital totalmente imersiva são RV. Contudo, as experiências podem transitar entre RA e RV dentro do *continuum* de RM. Neste caso, é possível reunir elementos do mundo real com elementos digitais onde o utilizador interage e manipula itens, ambientes físicos e virtuais, usando tecnologias de deteção e imagem de última geração. A RM permite interagir com o ambiente virtual usando as suas próprias mãos a partir do mundo real. Deste modo, oferece a possibilidade de estar presente, simultaneamente, no mundo real e em outro lugar imaginário, rompendo fronteiras nos conceitos básicos entre real e virtual, oferecendo uma experiência que pode mudar a forma como trabalhamos ou nos relacionamos socialmente (cf. Figura 4.4).



Figura 4.4 Realidade Mista⁹³ (Microsoft)

Como referimos anteriormente, os investigadores Paul Milgram e Fumio Kishino descreveram pela primeira vez o conceito de *Mixed Reality* num artigo de 1994, intitulado “A Taxonomy of Mixed Reality Visual Displays”, no qual descreveram um “continuum de virtualidade” que conecta os mundos real e virtual. Esta definição foi pensada, inicialmente,

⁹³ <https://docs.microsoft.com/pt-pt/windows/mixed-reality/design/color-light-and-materials>

por Milgram e Kishino, sobretudo em termos de exibições visuais. Contudo, a RM passou a abranger informações que também são percebidas através de outros sentidos. Projetar conteúdos em dispositivos imersivos e holográficos depende de uma cuidadosa renderização em que os fatores cor, iluminação e materiais são determinantes para que a experiência seja verdadeiramente imersiva.

4.5 O estereoscópio de Wheatstone

O conceito de imersividade pode ser, também, associado ao uso da estereoscopia, com os dispositivos introduzidos a partir do século XIX. Com efeito, Sir Charles Wheatstone (1802-1875) inventou o primeiro estereoscópio em 1838 a partir de duas imagens planas. Este artefacto foi inventado antes da fotografia, pelo que as primeiras imagens estereoscópicas foram desenhadas à mão. O estereoscópio de Wheatstone usa um par de espelhos posicionados num ângulo de 45 graus em relação aos olhos do espectador com duas imagens colocadas lateralmente (cf. Figura 4.5).

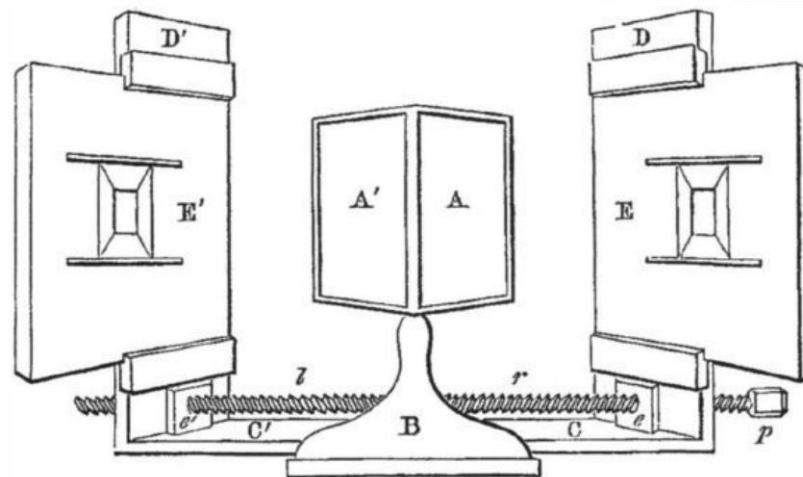


Figura 4.5 Estereoscópio de Wheatstone⁹⁴ (David Brewster)

⁹⁴ A primeira descrição do estereoscópio, projetado por Charles Wheatstone, foi publicada em *Philosophical Transactions of the Royal Society* vol. 128 (1838, p.371), com o título “Contributions to the Physiology of Vision”.

Essas imagens, distintas uma da outra, são apresentadas separadamente a cada um dos olhos em virtude da posição dos espelhos. Basicamente, duas imagens do mesmo objeto ou cena são apresentadas em ângulos ligeiramente diferentes. Observadas através de lentes ou de um sistema de espelhos angulados fazem as imagens parecer maiores e mais distantes. O cérebro humano, sugestionável, funde as imagens, interpretando-as em três dimensões. Deste modo, Wheatstone conseguiu manipular as imagens apresentadas a cada olho e observar a profundidade produzida. Usando o estereoscópio com braços ajustáveis podia variar as quatro circunstâncias – tamanho da retina, convergência, acomodação e disparidade. Wheatstone descobriu que a magnitude percebida de um objeto diminui à medida que a inclinação dos eixos se torna maior, enquanto a distância permanece a mesma; e aumenta quando a inclinação dos eixos permanece a mesma, enquanto a distância diminui. Quando ambas as condições variam inversamente (como acontece na visão comum), se a distância de um objeto muda, a magnitude percebida permanece a mesma (Wheatstone, 1852).

Os primeiros pares de desenhos estereoscópicos, que Wheatstone encomendou a um desenhador, representam formas geométricas em perspectiva cônica em que os pontos de vista deveriam coincidir com a posição dos olhos no estereoscópio (Cabezos-Bernal, 2014) (cf. Figura 4.6).

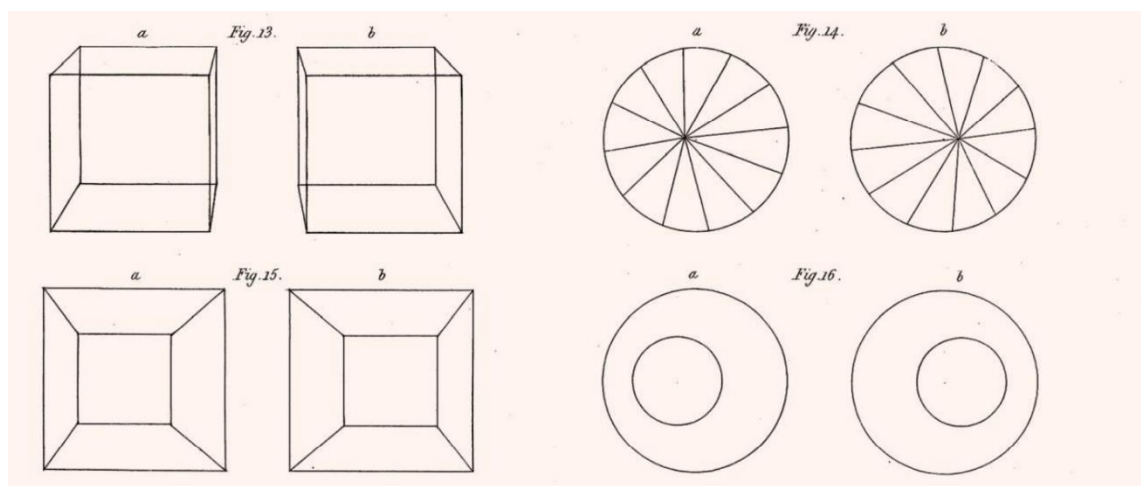


Figura 4.6 Primeiros desenhos estereoscópicos (Wheatstone, 1845)

Os resultados descritos nas várias experiências de Wheatstone sobre os princípios da visão binocular e da estereoscopia constituem uma referência histórica para a tecnologia de projeção 3D e RV.

4.6 O estereoscópio de Brewster

Paralelamente às descobertas de Wheatstone, prosseguiram os estudos sobre a fotografia realizados por Nicéphore Niepce (1765-1833) e aperfeiçoados por Louis Daguerre (1787-1851), oficialmente divulgados, em agosto de 1839, na Academia de Ciências de Paris, convertendo-se, desde o primeiro momento, num meio idóneo para produzir pares estereoscópicos (Cabezos-Bernal, 2014).

Desta feita, David Brewster (1781-1868)⁹⁵ atualizou o estereoscópio original de Wheatstone com a inclusão de lentes, concebendo o estereoscópio numa caixa de madeira com duas lentes convergentes, que funcionam como oculares. O par de imagens a ser observado era inserido no lado oposto da caixa, originalmente fechada por uma placa de vidro fosco. A pequena tampa na parte superior do aparelho foi originalmente coberta para refletir a luz nas imagens opacas fixadas em papelão e uma placa de madeira permitia separar os campos de visão (cf. Figura 4.7).



Figura 4.7 Estereoscópio de David Brewster (1845)

⁹⁵ David Brewster (1791-1868), físico escocês, acérrimo estudioso da ótica, aperfeiçoou, durante vários anos de estudo e de experiências, o estereoscópio de Wheatstone utilizando lentes prismáticas.

Os raios de luz provenientes das figuras eram desviados pelas lentes e assim o observador podia ver uma nova imagem tridimensional resultante de sua justaposição (Brewster, 1971)⁹⁶. Com a devida sofisticação, as suas curvaturas são ainda hoje usadas nos óculos de RV.

4.7 O estereoscópio de Holmes

Por sua vez, Oliver Wendell Holmes (1809-1894) criou, em 1861, um visor portátil estereoscópio. Trata-se de um modelo mais simplificado e certamente mais económico do que o de Brewster. Este estereoscópio, concebido essencialmente com uma finalidade lúdica, consistia em duas lentes prismáticas e um suporte de madeira para segurar o cartão estéreo, imagens bidimensionais então combinadas no cérebro para dar a percepção da profundidade. O objetivo fundamental da estereoscopia traduzia-se na possibilidade de observar uma imagem em profundidade, isto é, produzir um efeito de realidade que ilude os nossos sentidos com a aparência de uma verdade plausível (Holmes, 1859) (cf. Figura 4.8).



Figura 4.8 Estereoscópio tipo Holmes⁹⁷

⁹⁶ Brewster, David, Sir, 1781-1868.

⁹⁷ Equipamento pertencente ao museu particular da Tallinn School № 21, Estónia, cortesia de Henrique Matos (2017).

O "estereoscópio americano", como ficou conhecido, que usava lentes prismáticas, popularizou-se em vários países e não foi patenteado porque, como o próprio Holmes justificou mais tarde, não havia nenhum princípio totalmente novo envolvido na sua construção⁹⁸.

4.8 Fotografia e estereoscopia

A técnica estereoscópica evoluiu durante a segunda metade do século XIX, adaptando-se às sucessivas melhorias nos procedimentos e às múltiplas variantes desenvolvidas da invenção de Brewster. Por outro lado, o desenvolvimento da fotografia conduziu, inevitavelmente, ao aparecimento das primeiras câmaras estereoscópicas e à conceção de visores estereoscópicos, mais desenvolvidos. Na última década do séc. XIX, a estereoscopia registou importantes avanços, tendo o inglês William Freese-Greene patenteado a primeira câmara de lente dupla e que deu origem à proliferação de muitos outros modelos (cf. Figura 4.9).

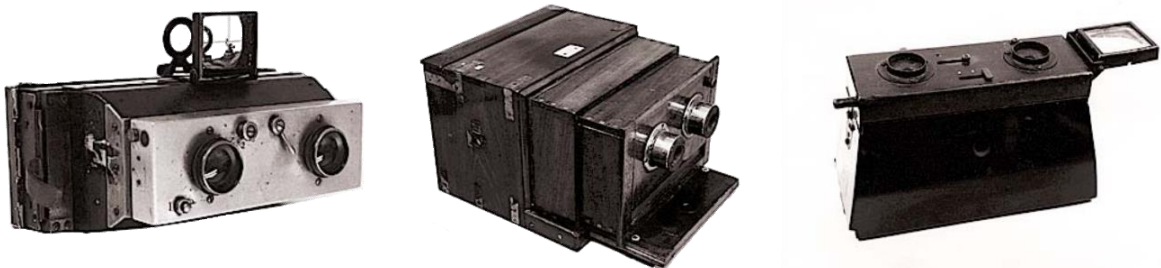


Figura 4.9 Câmara estereoscópica binocular⁹⁹ (*Camera with Rollfilm Holder-1910* à esquerda, *Sliding Box-1865* ao centro, *Camera and Viewer-1890* à direita)

Deste modo, a popularidade da estereoscopia abre a curiosidade aos fabricantes de instrumentos óticos que, a partir de meados do século XIX, desviam o estereoscópio da sua vocação essencialmente científica, explorando as suas potencialidades comerciais. Verifica-

⁹⁸ Holmes, Oliver Wendell (março de 1952). "O estereoscópio americano". Image: Journal of Photography da George Eastman House. Rochester, NY. 1 (3).

⁹⁹ Museum of the History of Science, Oxford. The Technology of Photographic Imaging. <https://www.mhs.ox.ac.uk/cameras/>

se, então, uma enorme produção e comercialização destes aparelhos e respetivas imagens estereoscópicas (cf. Figura 4.10).



Figura 4.10 Estereoscópio do tipo Brewster

O estereoscópio rapidamente passou de novidade a bem essencial, tornando-se objeto de entretenimento, sobretudo pelo deslumbramento que a imagem causava através da sensação de profundidade que sugeria às imagens visualizadas, mas também pelo valor científico e pedagógico dos milhares de imagens que foram produzidas por todo o mundo¹⁰⁰.

Para quem nasceu na era digital, a quem Marc Prensky (2001) designou de *nativo digital*, as câmaras fotográficas estereoscópicas do início do século passado até podem parecer tecnologia futurista, atendendo à semelhança com o número de câmaras fotográficas incorporadas nos atuais *smartphones*. Contudo, os propósitos são distintos.

¹⁰⁰ Sobre a fotografia estereoscópica em Portugal, foi efetuado um levantamento e estudo das coleções e dos fundos de fotografia estereoscópica dos museus e arquivos públicos portugueses pelo m|i|mo – museu da imagem em movimento.



Figura 4.11 Camaras estereoscópicas (Verascope à esquerda) e (Kodak à direita)

Também nestes dispositivos a imagem é obtida numa única captura com uma câmara estereoscópica em que o aparelho possui duas lentes, cujos centros distam entre si, sensivelmente, a mesma distância que se verifica entre os olhos humanos, e simulam a visão binocular.



Figura 4.12 Auto-retrato de Carlos Relvas (1868-1869) no primeiro estúdio, numa prova estereoscópica em albumina colada em cartão¹⁰¹

Os cartões estereográficos podem ser usados em visores estereoscópicos para criar a ilusão de uma imagem tridimensional. Esta técnica baseia-se no princípio da visão humana binocular, resultante da distância interocular, que permite observar um mesmo objeto a partir de dois pontos de vista ligeiramente diferentes.

¹⁰¹ <https://carlosrelvascatalogue.pt/catalogue>

Desta feita, as novas técnicas de manipulação das imagens e o efeito espetacular da estereoscopia, que convoca o espectador para uma nova forma de imersão através de uma realidade composta por elementos reais e virtuais (anacrônicos), cria numa nova forma de espetáculo visual produzido e consumido massivamente, semelhante ao efeito da generalidade dos média (Luz & Peixoto, 2015).

4.9 Visores de transparência – *View-Master*

O *View-Master* é uma tecnologia vintage que apresenta imagens tridimensionais, utilizando o mesmo princípio básico da estereoscopia. Baseado na teoria de Charles Wheatstone, foi patenteado¹⁰² por William Gruber, em 1937, e consiste num visor estereoscópico que usa a luz natural para iluminar imagens fotográficas em películas transparentes (cf. Figura 4.13).



Figura 4.13 View-Master (William Gruber)

À semelhança do estereoscópio, o *View-Master* baseia-se no princípio da perceção de profundidade, em que o utilizador observa imagens idênticas, tiradas em ângulos ligeiramente diferentes. Cada olho vê uma imagem diferente que, quando combinadas, o cérebro interpreta como uma única imagem em 3D. Neste caso, objetos em primeiro plano parecem destacar-se do fundo (em muitos casos o aspeto 3D de cada cena resulta numa

¹⁰² <https://patents.google.com/patent/US2189285A/en>

combinação de imagens planas isoladas em distintos planos, mais ou menos afastados entre si). A cada pressão da alavanca, o disco é girado mecanicamente para que as próximas duas imagens na sequência sejam movidas na frente dos olhos do espectador.

4.10 Anáglifos

A representação tridimensional recebe, ainda, um novo impulso com os estudos do físico e inventor Louis Ducos du Hauron (1837-1920), um dos pioneiros da fotografia a cores, que contribuiu para o desenvolvimento de uma nova invenção estereoscópica. Referimo-nos concretamente ao anáglifo 3D associado no uso mais comum aos típicos óculos com lente vermelha e azul ciano. Em 1874, Louis Ducos du Hauron desenvolveu e patenteou¹⁰³ uma câmara fotográfica de três cores, designada “*caméra héliochromatique*”, que, através de filtros de luz, permitia efetuar, simultaneamente, a separações de três cores numa única exposição Cf. Figura 4.14). A descrição do método de Hauron para obter fotografias a cores foi publicado pelo próprio no jornal *Le Gers*¹⁰⁴ e comunicado à *Societe Francaise de Photographie* (Ducos du Hauron, 1869).



Figura 4.14 *Le mélanochromosome*¹⁰⁵ (Louis Ducos du Hauron, 1899)

¹⁰³ Em 1859, com apenas 22 anos, imaginou uma forma de reproduzir imagens coloridas (heliocromia por fototipia) registada em patente. https://artsandculture.google.com/entity/m074_6t

¹⁰⁴ Ducos du Hauron, Louis (1869): “Les Couleurs en Photographie: Solution du Probleme.” *Le Gers* (Mar. 11, 13, 16, 18, 20, 23, April 1, 6).

¹⁰⁵ Exposição no Musée Nicéphore-Niépce, Chalon-sur-Saône, França.

Procurando desenvolver a sua técnica, Louis Ducos du Hauron substituiu a sua câmara escura inicial pelo Mélanochromosome, depois um Cromographoscope mais eficiente.

O anáglifo 3D é uma das invenções mais importantes da estereoscopia, não só porque é utilizado nas salas de cinema até a implementação do 3D polarizado no século XXI, mas também porque ainda hoje o anáglifo 3D é a forma mais simples e democrática de visualizar imagens tridimensionais e, por este motivo, consideramos de interesse pedagógico. Esta tecnologia tem implícitos conhecimentos de ótica e formação da imagem pelo cérebro, que permite registrar a imagem correspondente, filtrada em cada olho por uma cor diferente. O princípio de funcionamento destas imagens baseia-se no facto de os nossos olhos verem a mesma imagem de perspectivas diferentes, isto é, considerando cones visuais distintos, impedindo, simultaneamente, que cada olho veja a imagem correspondente ao outro olho. Assim, as imagens são polarizadas pela sobreposição e configuração de cores complementares em que o espectador apenas vê em cada olho o traçado negro em fundo claro (cf. Figura 4.15).

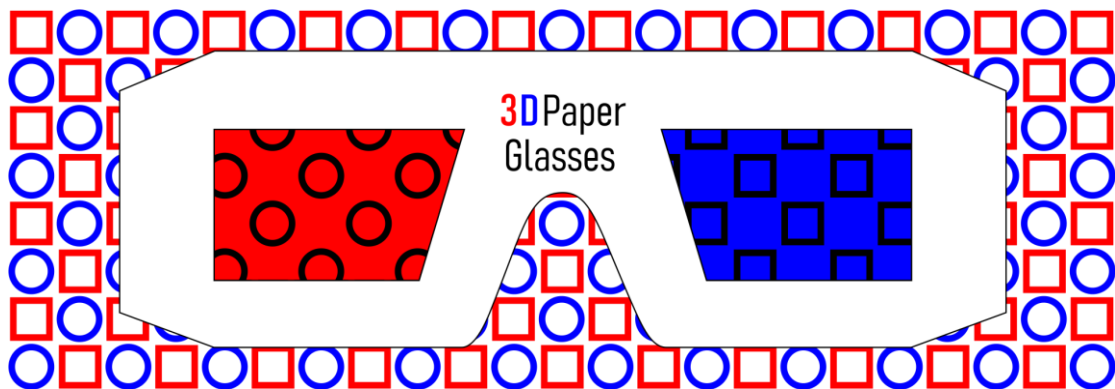


Figura 4.15 Anáglifo com síntese em negro

Nesse caso, cada um dos olhos utiliza um filtro diferente para visualizar as imagens do par estereoscópico. O olho que estiver com o filtro vermelho refletirá apenas a cor vermelha e o olho que estiver com o filtro azul refletirá apenas a imagem azul. Os primeiros anáglifos

geométricos que se conhecem foram publicados por Henri Vuibert¹⁰⁶ em 1912. Contudo, esta tecnologia aparentemente incipiente tem sido objeto de exploração pedagógica no âmbito do estudo da geometria com potencialidades evidentes (Cabezos-Bernal, 2014; Oliveira, 2016).

Este efeito de tridimensionalidade obtido através da polarização da luz foi utilizado e desenvolvido ao longo de várias décadas pelos cineastas para proporcionar experiências cinematográficas 3D, através de projetores sincronizados que tornam possível a percepção da profundidade. Também a televisão explorou esta tecnologia que atualmente nos surpreende com a qualidade da composição da imagem e do efeito 3D sugerida pelos recursos associados à conversão inteligente da nova geração das *Smart TV*. Para quem viveu a adolescência na década 80 em Portugal certamente se recordará da primeira experiência coletiva 3D, amplamente difundida através da televisão portuguesa, a célebre transmissão televisiva do filme o "Monstro da Lagoa Negra"¹⁰⁷ que se traduziu na massificação publicitária dos óculos anáglifos 3D (cf. Figura 4.16).

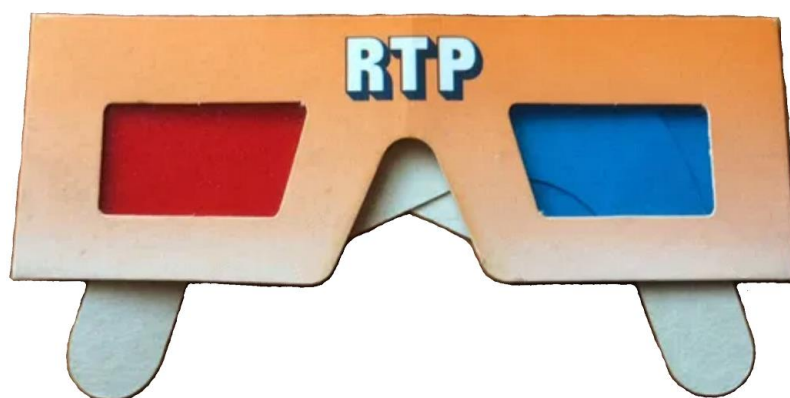


Figura 4.16 Óculos 3D para visionar o "Monstro da Lagoa Negra", RTP (1985)

Foi no outono de 1985 que a RTP anunciou insistentemente e transmitiu a experiência de TV com mais "espetacularidade e realidade" de sempre. Para isso, foi necessário adquirir

¹⁰⁶ Henri Vuibert descreve o funcionamento dos anáglifos e encoraja à exploração pedagógica desta tecnologia.

¹⁰⁷ Creature from the Black Lagoon (O Monstro da Lagoa Negra) é um filme de 1954, filmado em 3D, realizado por Jack Arnold.

em quiosques um envelope de cartão com 3 pares da “maravilhosa tecnologia americana” – os óculos 3D¹⁰⁸. Contudo, apenas poucos espectadores conseguiram as condições felizes para o tão desejado alinhamento da imagem que não passou de uma vaga impressão de relevo em algumas cenas, traduzindo-se numa enorme desilusão, quer pelo filme em si, quer pela tecnologia do 3D que era quase impercetível.

Todavia, a evolução da tecnologia levou a outras experiências cinematográficas de sucesso com novos sistemas que reforçam a ilusão e percepção de profundidade, como é o caso do épico filme de ficção *Avatar* produzido em 2009¹⁰⁹.

Esta tecnologia do passado, aparentemente frágil, tem, no entanto, um futuro promissor já que a tecnologia baseada na polarização da luz e os avanços da tecnologia digital estão a impulsionar o aparecimento de novos modelos de óculos de RA.

A *Google* já apresentou o novo modelo dos seus *Google Glass*, os *Enterprise Edition 2*, um dos primeiros dispositivos de RA a chegar ao mercado (cf. Figura 4.17).



Figura 4.17 *Glass Enterprise, Edition 2* com armações de segurança da *Smith Optics*.

¹⁰⁸ As compras dos óculos habilitavam ainda a um sorteio de um automóvel e três televisões a cores.

¹⁰⁹ Em boa medida, o impressionante sucesso financeiro deveu-se ao revolucionário uso de 3D no filme, que levou muita gente às salas de cinema para conferir a tecnologia, já que a maior parte dos ingressos vendidos registou-se nas sessões 3D.

Os *Google Glass*¹¹⁰ utilizam um pequeno projetor que emite imagens geradas por computador que parecem flutuar à frente do mundo real aos olhos do utilizador. As especificações encontradas apontam para uma ligação *Bluetooth* e *Wi-Fi*. Alguns dos exemplos de aplicação dados pela Google consistem em serviços de telemedicina, treino e formação remota no trabalho e assistência à navegação de utilizadores com incapacidades visuais.

Por outro lado, a *Microsoft* está, também, a desenvolver o seu modelo *HoloLens 2*, um dispositivo holográfico, autónomo, ergonómico e sem fios, com aplicações na indústria, na saúde e na educação, para aumentar a precisão e o rendimento do utilizador¹¹¹ (cf. Figura 4.18).



Figura 4.18 HoloLens 2 da Microsoft

O dispositivo *HoloLens* da *Microsoft* aposta na RM e sugere uma aplicação diferenciadora no mercado empresarial, mas, segundo a marca, pode ser também usado por qualquer utilizador.

¹¹⁰ <https://www.google.com/glass/start/>

¹¹¹ <https://www.microsoft.com/en-us/hololens/buy>

Por sua vez, também a *Apple* que tem apostado na RA, sobretudo nos seus dispositivos *iPhone* e *iPad*, estando a desenvolver uns óculos dedicados a esta tecnologia tridimensional – *Apple Glass*¹¹² (cf. Figura 4.19).



Figura 4.19 Protótipo revelado dos *Apple Glass*

Trata-se de uma área em desenvolvimento onde se refletirá certamente uma diversificação na oferta de produtos que exploram a RA e a interface com outros dispositivos. No futuro os óculos inteligentes permitirão interagir virtualmente com ambientes do mundo real em situações comuns do quotidiano, adicionando conteúdos virtuais em tempo real.

O potencial cinematográfico da ficção científica é desafiante e, por vezes, torna-se reconfortante ver e/ou imaginar o futuro, mesmo que já seja passado. No filme *Back to the Future* de 1985 (exibido em 1986, em Portugal) de Robert Zemeckis, com Michael J. Fox no papel principal, encontramos alguns exemplos de tecnologias futuristas que confirmam a ideia de que o futuro é tão brilhante que vamos ter que usar óculos. Neste caso, o futuro demonstra que aquilo que foi imaginado é baseado em tecnologias que estão a ser desenvolvidas e outras que já estão mercado (cf. Figura 4.20).

¹¹² <https://www.theinformation.com/articles/apple-reaches-new-stage-in-development-of-ar-devices>



Figura 4.20 Óculos 3D em *Back to the Future* (1985)

À semelhança do filme *Avatar*, de James Cameron, e também em *Ready Player One*, de Steven Spielberg, os dispositivos de RV constituem uma interface entre o universo real e o espaço alternativo virtual (cf. Figura 4.21).



Figura 4.21 Óculos de Realidade Virtual em *Ready Player One* (2018)

Curiosamente, os óculos de RV ganharam espaço no mercado audiovisual nos últimos anos e têm sido explorados cada vez mais por cineastas e produtores de conteúdos digitais. No entanto, a própria indústria do cinema continua a viver num período de experimentação onde o 3D, a RV, a RA ou gravações com recurso a câmaras 360° mantêm esta área num caminho de incerteza quanto ao futuro.

Também no campo das artes, designadamente na música eletrónica, encontramos propósitos para a utilização de tecnologia estereoscópica. Referimo-nos concretamente ao espetáculo dos *Kraftwerk*, por exemplo no EDP *Cool Jazz*, em Lisboa (cf. Figura 4.22).



Figura 4.22 *Kraftwerk* no concerto em Lisboa, 2019¹¹³

Neste espetáculo o público que recebe uns óculos 3D polarizados é convidado a seguir uma viagem orientada pelos músicos alinhados lado a lado no palco como se estivessem no comando de uma qualquer central nuclear (cf. Figura 4.23). A sua visão inovadora permite novas edificações sonoras e novas formas de pensar o mundo e a tecnologia que utilizam ajudando a popularizar novas criações musicais. Os temas *Autobahn*, *The Man-Machine*, *Computer World* e *Tour de France Soundtracks* são modelados por figuras geométricas que enfatizam o padrão repetitivo característico da fundação rítmica do grupo.

Os *Kraftwerk*, pioneiros na música eletrónica, incluem a tecnologia de óculos 3D nos seus espetáculos como forma de implantação cibernética para inventar o futuro. Podemos dizer que, algures entre o vanguardismo experimental e a viagem por uma estética *retro cool*, os seus espetáculos são um verdadeiro regresso ao futuro. Nestes espetáculos a estereoscopia cria a ilusão de profundidade tridimensional a partir de imagens bidimensionais fornecidas digitalmente num grande ecrã. A utilização destas tecnologias

¹¹³ <https://comunidadeculturaearte.com/kraftwerk-vaio-tocar-no-edp-cool-jazz/>

reforça a ideia de que é fundamental estudar as tecnologias do passado para melhor compreender as tecnologias do presente.



Figura 4.23 Óculos polarizados para espetáculo dos *Kraftwerk*

4.11 Autoestereogramas

Duas décadas atrás a tecnologia dos autoestereogramas despertou um novo culto artístico que se desenvolveu em torno de uma técnica que obriga as pessoas a realizar certas proezas oculares pouco habituais (Burder, 1994). De facto, os livros de estereogramas tiveram um enorme sucesso mundial com a publicação do primeiro livro *Magic Eye: A new way of looking at the world*, em outubro de 1993, lançado por *N.E. Thing Enterprises*. O fenómeno da sua popularidade assentou no divertimento que proporcionava e no prazer de partilhar a experiência com os amigos e, ainda, no encorajamento que se tornava compensador para aqueles que estavam dispostos a exercitar a técnica que permitia ver os estereogramas. O estereograma encerra uma técnica de ilusão de ótica que imita a visão humana, de tal forma que a partir de duas imagens bidimensionais complementares sobrepostas, é possível visualizar-se uma imagem tridimensional (Christopher, 1990). Estas imagens encerram uma outra possibilidade de proporcionar uma experiência de RV, não computadorizada, ao espectador (Rheingold, 1994). Os autoestereogramas (*Random-Dot Stereogram*) são também formas de visão estereoscópica, basicamente, construídos por duas figuras sobrepostas numa mesma imagem com apenas alguns elementos alterados na dimensão da profundidade (cf. Figura 4.24).

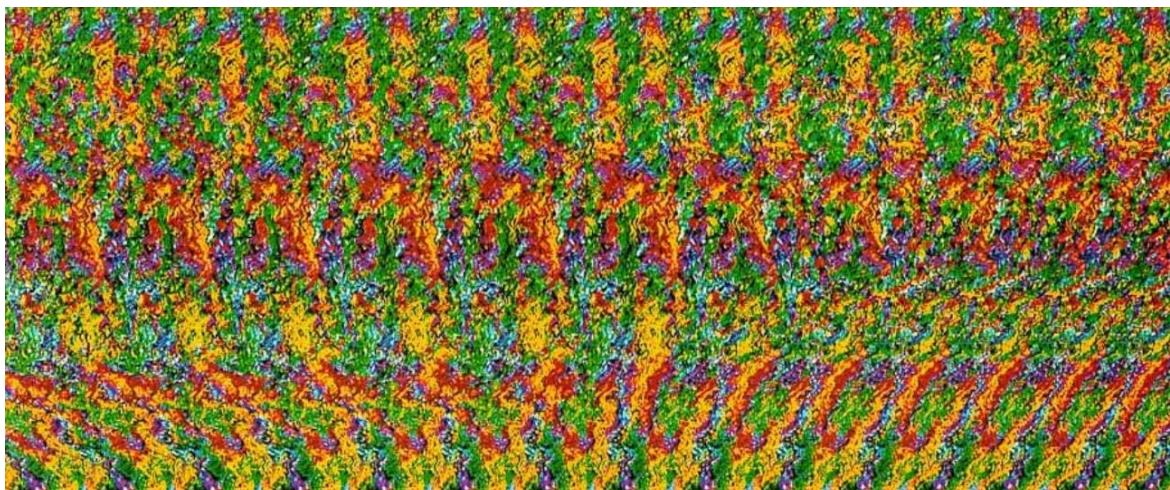


Figura 4.24 Estereograma com esquiador, 1994 (N.E.Thing Enterprises¹¹⁴)

Este conceito de imagem, aparentemente, única contendo um objeto ou cena tridimensional materializa-se, automaticamente, diante dos olhos do espectador sem necessidade de utilizar um visor, como no caso dos estereogramas compostos. Os métodos mais conhecidos para visualizar estas imagens, que requerem algum treino e paciência do observador, assentam basicamente na técnica de observação paralela e na técnica de observação cruzada. A primeira implica observar o estereograma de modo a que as linhas de visão de cada olho sejam particamente paralelas, como se o observador estivesse a observar um objeto distante da imagem. Por outro lado, a observação cruzada implica um esforço do observador para que as linhas de visão se intersetem aquém da imagem observada.

4.12 Estereoscopia e visão binocular

A sobreposição de um par de imagens para criar a ilusão de profundidade está na base da tecnologia analisada anteriormente e o incrível efeito de proporção resulta da composição numa única imagem usando a imagem individual de cada olho. Assim, a visão binocular envolve o uso de dois olhos ou dispositivos óticos para a aquisição de propriedades óticas e geométricas de uma composição, proporcionando um campo de visão aumentado que

¹¹⁴ Coleção do Jornal Público, <http://static.publico.pt/estereogramas/esquiador.html>

se traduz no aperfeiçoamento na detecção imprecisa de objetos. No entanto, para apreender uma imagem 3D é necessário considerar a distância entre objetos, bem como a distância ocular ou disparidade estereoscópica. A percepção de profundidade pode ser baseada em pistas binoculares ou pistas monoculares, que tendem a depender de efeitos psicológicos (Solso, 1994). Considerando que a percepção visual é composta por múltiplos elementos, nomeadamente, a cor, o tamanho, a forma, a profundidade, o movimento, a localização, estes elementos compõem estímulos que chegam por diferentes vias ao córtex visual, acionando áreas distintas e específicas. No entanto, quando observamos, a nossa percepção consciente não é decomposta, mas unificada e simultânea. O processamento destas informações visuais pelo sistema nervoso central é que nos proporciona a percepção de profundidade (Hubel & Wiesel, 1979).

4.13 Perspetiva e imersão visual

As características profundamente envolventes da RV, da RA ou da RM são traduzidas no conceito de imersão que englobam um conjunto de artefactos tecnológicos com vista à estimulação dos diversos sentidos humanos, de uma forma holística. No entanto, no âmbito deste trabalho abordaremos apenas a dimensão visual do conceito de imersão. Como referimos, no primeiro capítulo deste trabalho, consideramos que as atuais tecnologias digitais de RM traduzem a implementação de conceitos geométricos que estão na origem dos fundamentos teóricos da invenção de perspetiva, sobretudo da construção técnica de Filippo Brunelleschi, das contribuições matemáticas Leon Battista Alberti, do perspetógrafo de Albrecht Dürer, bem como dos trabalhos de Andrea Pozzo e o conceito de anamorfose.

No início do *Quattrocento*, os artistas pretendiam fazer representações mais alinhadas com a visão humana e Leon Battista Alberti, na sua obra *De Pictura*, em 1436, propôs uma teoria sobre a perspetiva que recomendava que o pintor seja educado, tanto quanto possível, em todas as artes liberais, mas (...) sobretudo que tenha boa geometria.

Consideramos, ainda, que o estudo de anamorfose traduz um extraordinário exemplo da aplicação do conceito de imersão, pelo simbolismo geométrico associado à construção da

perspetiva e pela sensação de profundidade obtida pela *renderização* das imagens ilusórias no seu contexto.

Por outro lado, atualmente, outras tecnologias de imersão incorporadas nas câmaras fotográficas integradas nos *smartphones*, permitem capturar fotografias a 360 graus e fotografias panorâmicas 3D, proporcionando uma mistura entre arte, tecnologia e ciência. Em março de 2018, o grupo Os Xutos & Pontapés apresentou em direto no *Facebook* o tema intitulado “Fim do Mundo” num intrigante formato 360 graus interativo que permite ao espectador ter a sensação de estar no mesmo espaço onde a banda se encontra a atuar (cf. Figura 4.25).



Figura 4.25 Fim do Mundo: single dos Xutos & Pontapés¹¹⁵

Para melhor compreender o funcionamento destas novas tecnologias digitais, desenvolvemos um itinerário formativo para o estudo da perspetiva focado na temática das anamorfoses e da perspetiva imersiva. Deste modo, seleccionámos um conjunto de experiências pedagógicas para ensinar a desenhar manualmente perspetivas imersivas que possam ser visualizadas como panoramas de RV. Pretendemos, ainda, estabelecer uma

¹¹⁵ <https://www.youtube.com/watch?v=BEIQH2O60bM>
<https://www.facebook.com/XutosePontapes/videos/10156997224998840/>

relação entre o desenho analógico e as tecnologias digitais para compreender os princípios subjacentes ao desenvolvimento do software utilizados nestas tecnologias. Para cumprir este propósito, a nossa proposta vai no sentido de explorar as perspectivas curvilíneas e associá-las às anamorfoses imersivas.

4.14 Da perspectiva curvilínea às grandes Panoramas de Robert Barker

As primeiras representações de uma vista com perspectiva curvilínea, mesmo que não apresente um ângulo de visão extremamente amplo, são encontradas em algumas pinturas de Jean Fouquet (1420-1481)¹¹⁶, ainda que não se saiba exatamente qual a técnica que utilizou para obter suas perspectivas (cf. Figura 4.26).



Figura 4.26 *Entrée de l'empereur Charles IV à Saint-Denis* (Jean Fouquet¹¹⁷)

No entanto, é provável que ele tenha utilizado um espelho convexo à semelhança do que é possível observar em Van Eyck (1390-1441) na pintura o Casal Arnolfini (cf. Figura 4.27).

¹¹⁶ Jean Fouquet foi, talvez, o mais importante pintor francês do século XV (início do Renascimento), tendo desenvolvido um novo estilo integrando as fortes tonalidades cromáticas do gótico, com a perspectiva e os volumes italianos, assim como a inovação naturalista dos artistas flamengos.

¹¹⁷ Manuscrito: "Grandes Chroniques de France", Paris - Bibliothèque Nationale de France (BnF) 1455-1460. <https://www.photo.rmn.fr/archive/13-525827-2C6NU0DH3TEN.html>



Figura 4.27 *The Arnolfini Portrait* (Jan Van Eyck, 1434)¹¹⁸

Sabemos, também, que Leonardo da Vinci, relatando as distorções da perspectiva linear, observa que a perspectiva curvilínea é mais consistente com os efeitos da visão. Por outro lado, o dispositivo de Baldassarre Lanci substituiu a tela plana de interseção do cone visual por uma superfície circular curva, correspondente à superfície cilíndrica tangente a uma esfera imaginária com o centro no mesmo ponto de observação. Assim, se tomarmos como ponto de partida a noção de que as distâncias devem diminuir tanto à esquerda quanto à direita do observador, o problema pode, pelo menos formalmente, ser resolvido traçando o arco de um círculo (cf. Figura 4.28).

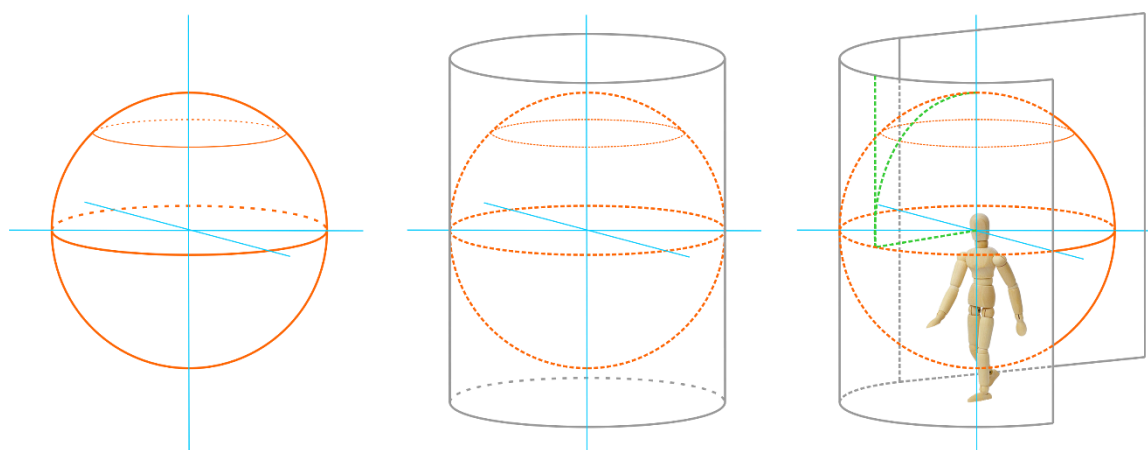


Figura 4.28 Superfície cilíndrica tangente à esfera

¹¹⁸ <https://www.artsy.net/article/artsy-editorial-3-major-misconceptions-jan-van-eycks-enigmatic-arnolfini-portrait>

O aparelho de Baldassarre Lanci consistia numa pequena máquina de desenho que permitia transportar, através de um visor que seguia o percurso ou a linha que demarcava o contorno das figuras observadas. Funcionava como um pantógrafo que desenhava todo o objeto numa superfície curva de 180°, de tal modo que o resultado já era uma aproximação ao panorama. Esta máquina particular e o resultado destes desenhos sugerem a perspetiva curvilínea, já que as linhas, quando colocadas no plano, o desenho apresentava certas anomalias que correspondiam a esta tipologia. A ideia sempre foi a busca da transposição real, da objetividade na imagem e, portanto, essa disposição do modelo em perspetiva vai ajudar a fazer essa geometrização, até de forma intuitiva.

Reconhecendo o valor pedagógico deste mecanismo, que transforma uma perspetiva retilínea numa perspetiva curvilínea, concebemos uma réplica simplificada do perspetógrafo de Baldassarre para utilizar como experiência de aprendizagem com os alunos envolvidos neste estudo (cf. Figura 6.28). Deste modo, seria possível o reconhecimento empírico dos arcos correspondentes às linhas e respetivos pontos de fuga, imprescindíveis para deduzir a construção de uma perspetiva curvilínea.

Outra das invenções que contribuiu, em boa medida, para o desenvolvimento da tecnologia imersiva foi a criação das grandes pinturas panorâmicas do séc. XIX. O termo *Panorama* foi inventado e patenteado pelo pintor Robert Barker, em 1787, quando o usou para descrever as suas pinturas de 360 graus de Edimburgo. Conhecido também como teatro ótico, o *Panorama* é cercado por uma longa (tela) superfície pintada, em que as imagens aparecem com acentuados efeitos realistas, obtidos através de perspetivas particulares e uma hábil regulação da luz (cf. Figura 4.29).



Figura 4.29 *Coloured Panorama of Edinburgh* (Robert Barker¹¹⁹)

¹¹⁹ <https://collections.ed.ac.uk/directory>

Deste modo, apresentava uma vista panorâmica da cidade de Edimburgo pintada em torno da parede interna de uma rotunda que, vista do centro da sala, dava ao espectador a ilusão de estar a observar a realidade (cf. Figura 4.30).

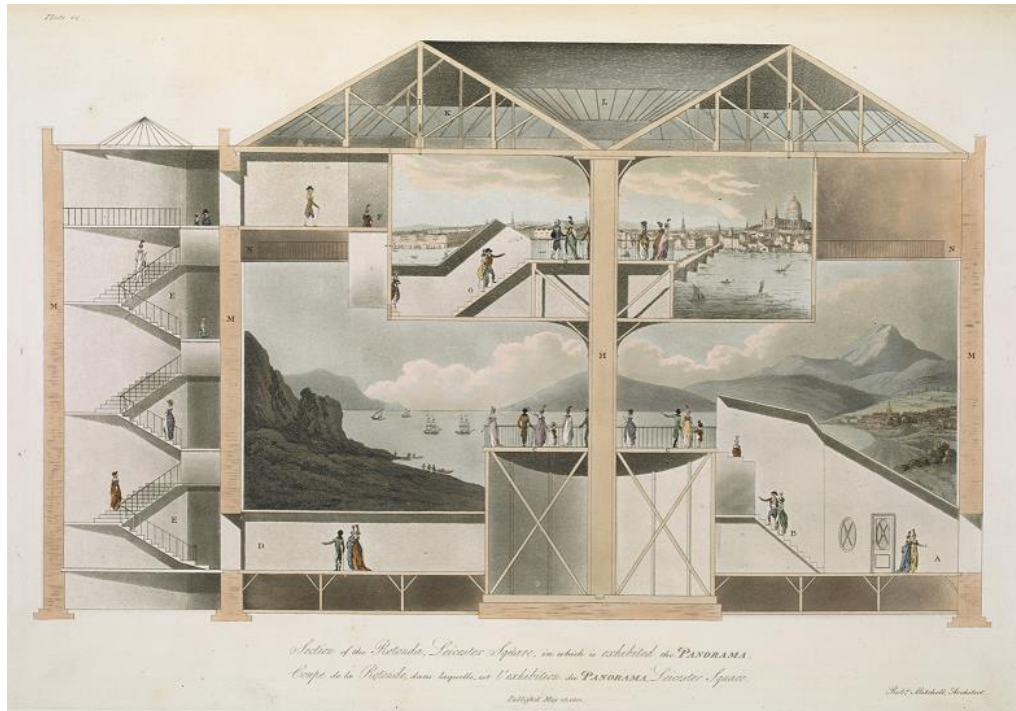


Figura 4.30 Corte transversal do Panorama de Robert Barker, *Leicester Square*, Londres¹²⁰

Ao entrar no edifício, os visitantes eram encaminhados para uma plataforma central cercada por uma pintura contínua (exposta numa superfície cilíndrica) retratando vistas como Edimburgo ou a cidade de Londres em plena revolução industrial. No *Panorama* o espectador apreende uma imagem sintética e, simultaneamente, dinâmica da cidade, encontrando-se no centro ótico/geométrico da instalação, imerso num espaço cultural de grande intensidade. Os pintores dominavam perfeitamente a perspectiva, a iluminação e o claro-escuro. Para aperfeiçoar a ilusão, em primeiro plano, entre o espectador na plataforma e a decoração pintada na rotunda, estavam dispostos, sobre um fundo falso, objetos reais ou modelos *trompe l'oeil* (troncos de árvores, arbustos, carroças, canhões, manequins etc., dependendo do assunto). De tamanho decrescente, davam a impressão

¹²⁰ Robert Mitchell's Plans and Views in Perspective of Buildings Erected in England and Scotland, 1801.

de uma continuidade entre a decoração e o espectador que tinha, portanto, a impressão de estar imerso no espetáculo (Lambole, 2007).

Para que o espectador seja envolvido num ritmo de sensações, Laurent Lescop (2016) aponta o pórtico de entrada, o corredor de acesso, a plataforma de observação, o cone de visão do observador, o chão falso, a tela cilíndrica, bem como a atmosfera luminosa como elementos estruturantes da cenografia de todo o dispositivo visual (cf. Figura 4.31).

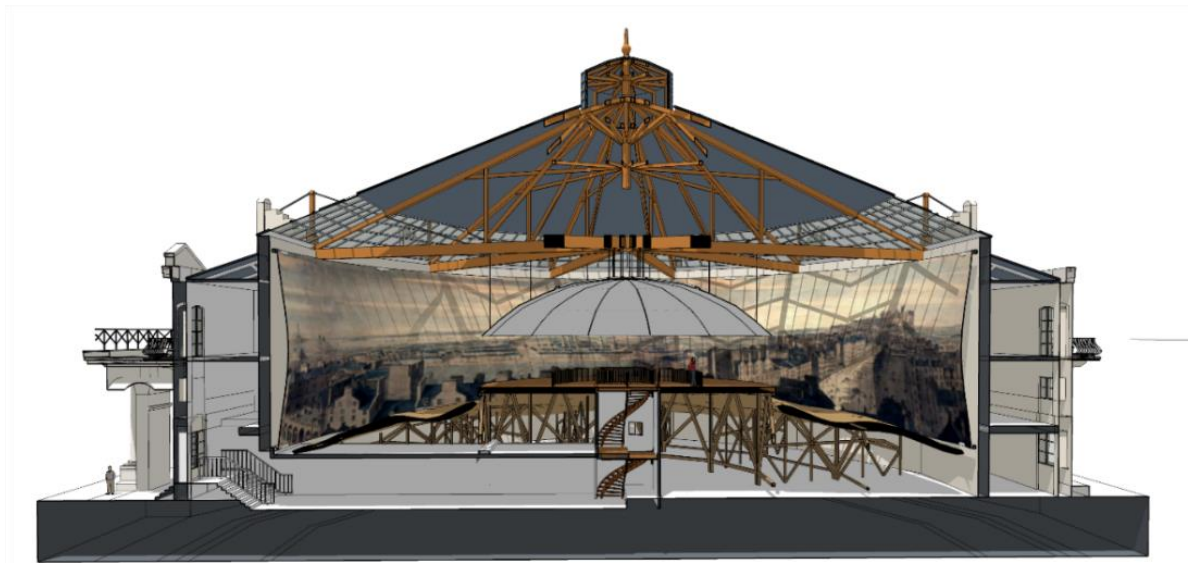


Figura 4.31 Corte da rotunda, com destaque para a curvatura da tela pintada (Lescop)

No desenho de secção é indicado um ângulo de 43° , ajustando, assim, o diâmetro da plataforma e a altura do teto falso que enquadra o olhar dos espectadores no zênite. Este ângulo de 43 graus corresponde à visão natural (Lescop, 2016).

Com as devidas reservas, tal como nos trabalhos de Andrea Pozzo, os limites da escala convencional de representação pictórica foram expandidos, mostrando imagens de 360 graus para um vasto público, permitindo que as pessoas sentissem o efeito como se estivessem realmente em *Carlton Hill* com vista para a paisagem de Edimburgo.

Estas pinturas, que reproduziam habilmente o real mundo, faziam os espectadores acreditar que o ambiente pictórico que se expunha diante dos seus olhos era autêntico e exigia um tipo específico de arquitetura que abrigasse os enormes panoramas cilíndricos, sem moldura (Oettermann, 1997).

Este tipo de experiência visual pode, atualmente, ser proporcionado pela tecnologia de RV, em que os espectadores podem vivenciar a ilusão de estar presencialmente num local, olhando livremente ao redor através da utilização de óculos VR. Esta técnica é comumente usada em RV quando o conteúdo a ser mostrado consiste em imagens de 360 graus em vídeo ou, simplesmente, fotografias panorâmicas.

4.15 Oclusão radial e anamorfose

O sucesso da ilusão imersiva do Panorama dependia, em boa medida, da qualidade da tela pintada, da composição dos objetos dispostos entre a pintura e a plataforma de observação, e até do modo como o espectador entrava no dispositivo. A invenção da perspectiva introduziu mudanças significativas no controlo do espaço visível, que joga com as proporções reais, desdobrando-o em profundidade. Deste modo, a anamorfose, o trompe-l'oeil e a ilusão ótica proporcionam um novo espaço visual virtual. É extraordinariamente difícil enumerar todas as condições físicas em jogo, ou descrever em detalhe os processos biológicos em causa no sistema visual humano. Qualquer afirmação de índole muito geral é alvo legítimo de objeções de detalhe e de contraexemplos.

Procurando separar claramente as complicações empíricas, os princípios operacionais e os conceitos geométricos fundamentais em jogo, Araújo (2016; 2020a) aponta uma nova definição de anamorfose sustentada num único princípio geométrico, descartando a definição usual de “uma imagem distorcida que parecerá normal quando vista de um ponto específico”. Para isso, invoca uma única propriedade empírica da visão, que denomina de “occlusão radial”: “Two points P and Q look the same to an observer at a point O if they are on the same ray with origin in O” (Araújo, 2020a, p. 7). Ou seja, dois pontos situados num mesmo raio visual com origem no olho do observador são visualmente indistinguíveis (cf. Figura 4.32). Isto é de certa forma uma reformulação de um princípio que Euclides utiliza implicitamente no seu tratado de Ótica, embora não o enuncie enquanto axioma – Euclides centra-se em vez disso na noção de tamanho aparente (dois segmentos parecem ter o mesmo tamanho se subtendem o mesmo ângulo) (Burton, 1945).

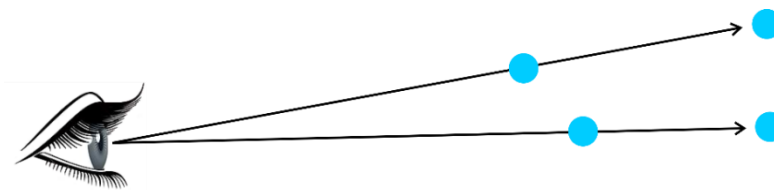


Figura 4.32 Evidência do princípio da oclusão radial

Araújo (2016; 2020a) vê a anamorfose cônica como um subconjunto do estudo da mimese, isto é, a representação imitativa do mundo, e como uma teoria psicofísica, e fenomenológica, da visão. Nota que existem classes de objetos que, embora muito diferentes enquanto objetos tridimensionais, parecem iguais para observadores humanos sob condições experimentais adequadas. Por outras palavras, um observador humano, sob certas condições experimentais estipuladas, não consegue distinguir a diferença entre os dois objetos; se um objeto fosse subitamente substituído pelo outro, o sujeito não perceberia a troca (Araújo, 2020a). O princípio da oclusão radial implica que estes conjuntos equivalentes são os que subtendem o mesmo cone de raios a partir do observador; se dois pontos são equivalentes se e só se estão no mesmo raio, então dois corpos serão visualmente equivalentes se são equivalentes ponto a ponto, ou seja, se definem o mesmo cone de raios.

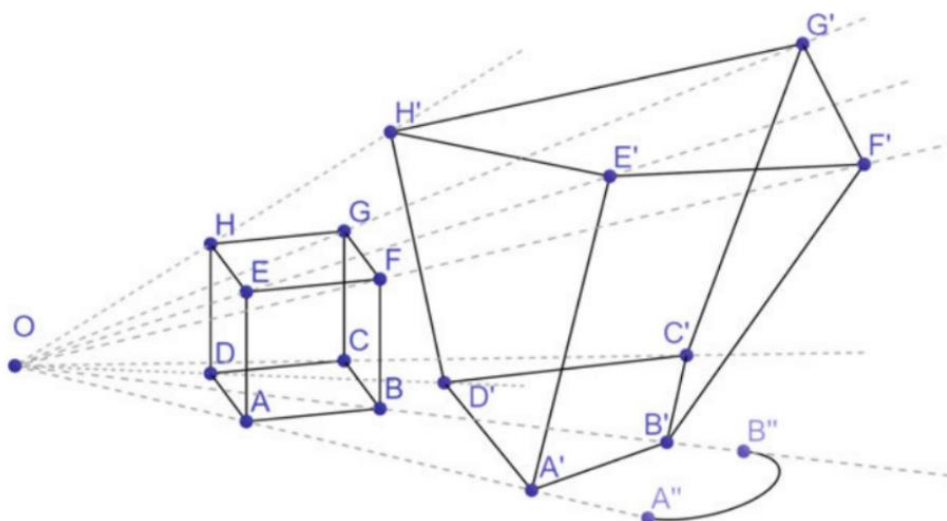


Figura 4.33 Objetos diferentes no mesmo cone visual (Araújo, 2020a)

Na Figura 4.33 podemos observar dois objetos muito distintos que subtendem o mesmo cone visual, e que, portanto, terão a mesma aparência quando vistos do ponto O, que corresponde ao olho do observador, desde que se verifique o princípio da oclusão radial.

Esta observação é formalizada numa definição geométrica: dois objetos dizem-se anamorfos em relação a um ponto O se definem o mesmo cone de raios relativamente a O. Isto define uma relação de equivalência entre objetos do espaço tridimensional. A importância desta relação é que objetos anamorfos em relação a um ponto O corresponderão, se a oclusão radial se verificar, a objetos miméticos (visualmente indistinguíveis) a partir de O. A definição matemática separa a questão empírica da questão geométrica. Com a definição de anamorfose cria-se um estudo geométrico bem delimitado de uma certa classe de objetos e da relação entre eles. A importância desse estudo é que existem certas condições empíricas em que essa equivalência corresponde a uma mimese ótica. Mas não temos que confundir as questões empíricas complexas relativas a biologia, ótica, física, etc., com a questão geométrica que fica bem delimitada. Se uma construção anamórfica no sentido geométrico resulta ou não numa mimese ótica efetiva é algo que depende de muitos fatores, mas estes fatores ficam assim reduzidos a uma única questão: será que as várias condições físicas levam a que o princípio da oclusão radial se verifique? Se sim, então tudo o resto se reduz a uma simples dedução matemática, porque toda a estrutura da anamorfose (e perspetiva, como veremos adiante) definida por Araújo depende apenas de ser verdadeiro esse único princípio.

Esta noção de anamorfose é essencialmente imersiva. De facto, a relação de equivalência não refere nenhuma superfície de projeção. A equivalência é entre cones visuais, ou seja, cones de raios com origem em O. Os raios definem, no entanto, uma superfície canónica intrínseca, que é a esfera unitária em torno do olho, já que a cada raio corresponde um e um só ponto da esfera centrada em O. Podemos definir anamorfose de um objeto tridimensional sobre uma superfície como sendo a intersecção do cone visual definido pelos pontos do objeto com a superfície. Uma anamorfose sobre uma superfície resulta num anamorfo 2D de um objeto 3D. Notamos que todas as anamorfoses sobre superfícies podem ser vistas como derivadas da anamorfose canónica sobre a esfera, que já contém

toda a informação necessária para construir as demais anamorfoses derivadas, que decorrem desta por projeção. Mais, a noção de anamorfose esférica contém em si uma definição intrínseca e maximamente simétrica de ponto de fuga. Sobre a esfera visual cada reta espacial projeta-se como um meridiano (ou seja, metade de um grande círculo, ou de uma geodésica da esfera – recordamos que um grande círculo é a intersecção com a esfera de um plano que passa na origem da mesma). Os pontos extremos deste meridiano, diametralmente opostos (antípodas) na esfera são os dois pontos de fuga da linha. Temos assim uma situação muito simétrica: cada linha tem exatamente dois pontos de fuga, ao contrário do que se passa na noção habitual de ponto de fuga da perspectiva linear, em que pode haver ou um ou zero pontos de fuga para cada linha.

A partir desta definição de anamorfose este autor define ainda uma noção de perspectiva esférica. Esta perspectiva é uma planificação da anamorfose sobre um conjunto compacto (isto é, limitado e fechado no sentido matemático/topológico do termo) do plano. Esta definição pretende resolver um problema da perspectiva esférica originalmente definida por Barre e Flocon (1968) no trabalho seminal “La Perspective Curviligne”. Neste trabalho estes autores definiram uma noção de perspectiva esférica que consiste em projetar o ambiente 3D radialmente sobre um hemisfério que é de seguida projetado sobre um disco no plano, usando a projeção cartográfica dita de Postel, mais habitualmente chamada de projeção azimutal equidistante. Barre e Flocon constroem um sistema completo de perspectiva, ou seja, um método sistemático para obter todas as projeções de linhas e pontos de fuga usando régua e compasso. Mas esta primeira perspectiva dita esférica é na verdade apenas hemisférica – pois projeta apenas metade da esfera visual. O mesmo pode ser dito do trabalho de Bernard Bombom (Bombom, 1985), que difere deste por utilizar uma projeção ortogonal em vez da azimutal equidistante.

Vários autores tentaram generalizar este trabalho à esfera total, mas estas generalizações não são métodos de perspectiva completos e sistemáticos como o método de Barre e Flocon (1968). Por exemplo (Casas, 1983) comete vários erros conceptuais e (Moose, 1985) apresenta um método ad-hoc algo confuso que não parece ser uma extensão correta da projeção de Postel. Por outro lado, (Michel, 2013) apresenta trabalhos verdadeiramente

virtuosos em perspectiva esférica e ao contrário de Casas (1983) compreende corretamente a projeção, mas não publica um método geral, ficando pela construção de grelhas esféricas. Outros autores recentes, refletindo os avanços da computação gráfica, optam por soluções computacionais em vez de construções de régua e compasso. Um exemplo importante é o trabalho de Vitor Correia (Correia 2015; Correia et al., 2013) que constrói um método de visualização computacional de projeções cônicas sobre uma larga classe de superfícies paramétricas, e que permite visualizações muito gerais, moldáveis pelo utilizador de acordo com parâmetros que definem a superfície de projeção. Este último trabalho, sendo de grande interesse para a visualização de arquitetura, não trata, no entanto, o problema original de generalizar Barre e Flocon (1968), antes investe por outro caminho que explora as potencialidades da visualização por computador.

É para dar resposta a este problema de generalizar Barre e Flocon (1968) à esfera completa que Araújo estabelece em (Araújo 2018) a definição de anamorfose esférica que discutimos acima. A partir desta, define perspectiva esférica de uma forma geral como sendo uma anamorfose sobre a esfera seguida de uma projeção cartográfica (“flattening”, ou “planificação”) sobre um conjunto compacto. Sendo assim, cada carta “compacta” definirá uma perspectiva esférica, existindo, portanto, um número infinito de tais perspectivas esféricas. Argumenta que a forma mais eficaz de abordar as perspectivas esféricas é centrando a atenção não nas projeções de retas, mas nas projeções das geodésicas que as contém e dos pares de pontos de fuga no seu término. Define assim uma estratégia geral para “resolver” uma perspectiva esférica que depende fortemente da noção de anamorfose esférica: primeiro classificar as geodésicas de acordo com as simetrias da perspectiva específica, depois criar métodos para medir e “renderizar” cada classe de geodésicas com meios elementares. Esta estratégia é aplicada primeiro em (Araújo 2018b) para resolver a perspectiva azimutal equidistante (ou “olho-de-peixe de 360 graus”) generalizando assim Barre e Flocon (1968), e de seguida, em (Araújo 2018a), para resolver a perspectiva equirectangular, decorrente da planificação cartográfica do mesmo nome. Finalmente a mesma estratégia foi usada para resolver a perspectiva esférica cúbica (Araújo et al., 2020). Em todos os casos o propósito é o desenho sistemático da perspectiva, das suas linhas e pontos de fuga, por meios elementares. Estes meios “elementares” incluem a régua e

compasso, mas podem incluir outros mecanismos como um transferidor no caso da perspectiva equiretangular ou, no caso azimutal equidistante, uma régua deslizante sobre um ponto fixo (o “prego”, ou nail referido no título de (Araújo, 2018b)) que cria uma classe de curvas como um locus geométrico. Outros métodos mecânicos incluem sistemas de grelhas dinâmicas que exploram as simetrias das perspectivas; simetria translacional no caso equiretangular, simetria rotacional no caso azimutal equidistante (Araújo, 2021). Em todos os casos uma questão fundamental para a resolução da perspectiva é a utilização das simetrias dos pontos de fuga que decorre da definição de anamorfose esférica: o facto de que cada linha tem exatamente dois pontos de fuga, e que estes são antípodas um do outro. De notar que esta simetria não existe nem na perspectiva linear (em que as linhas têm um ou zero pontos de fuga) nem na de Barre e Flocon (1968) (em que cada linha tem um ou dois pontos de fuga).

A noção de anamorfose cónica esférica mostra-se assim de interesse prático para resolução de perspectivas esféricas. Mas o autor argumenta ainda que esta tem um interesse filosófico que resolve muitos paradoxos aparentes da perspectiva clássica, como o paradoxo de Leonardo ou “problema das colunas” (Araújo 2016; 2020a); argumenta que esta simplicidade filosófica resulta numa eficiência didática, que permite integrar tópicos aparentemente diversos num todo coerente, de forma eficiente. Esta simplicidade didática é ilustrada pela descrição de um percurso didático utilizado no contexto do ensino superior com estudantes de doutoramento na área da Média-Arte digital (Araújo 2017a; 2020a). O presente trabalho desta dissertação consiste em parte numa adaptação deste método didático a uma situação radicalmente diferente, como veremos à frente.

4.16 Da Perspetiva Cilíndrica para o desenho imersivo

Os panoramas de grandes dimensões desenhados na rotunda de Robert Barker seguem o mesmo princípio que o perspetógrafo de Baldassarre Lanci (1510-1571). Ambos realizam um desenho sobre uma superfície cilíndrica, que tem uma propriedade mimética quando visto de um ponto privilegiado O (o ponto do observador) no eixo do cilindro. O desenho é obtido por projeção radial relativa a O: cada ponto espacial P será projetado na intersecção do raio OP com o cilindro (Figura 4.36 - esquerda). O cilindro pode ser cortado e desenrolado para obter um desenho num retângulo plano (Figura 4.36 - direita). Este desenho plano apresentará deformações que tornam curvilíneas as projeções de linhas retas espaciais. Na terminologia clássica tanto o panorama na sua forma cilíndrica como na sua forma plana recebem o nome de perspetiva cilíndrica. Isto é uma terminologia natural porque o objeto físico é o mesmo (matematicamente o desenrolar do cilindro corresponde a uma isometria). No entanto, esta terminologia levou historicamente a grandes equívocos teóricos, no caso da perspetiva cilíndrica, e a equívocos maiores quando terminologia análoga é utilizada na perspetiva esférica, em que a imagem de perspetiva esférica no plano não decorre da imagem na esfera por uma simples operação física, já que não é possível “desenrolar” uma esfera isometricamente. O esquema conceptual proposto por A. B. Araújo, discutido na secção anterior, leva a uma alteração relativamente à terminologia clássica, no âmbito de uma teoria geral das perspetivas esféricas (Araújo, 2016; 2018b; 2020a; 2021), em que o objeto mimético (o panorama sobre o cilindro) é denominado anamorfose e a sua planificação é denominada perspetiva. Já discutimos atrás que uma perspetiva (esférica) é uma construção em dois passos: uma anamorfose cónica sobre uma superfície curva seguida de uma planificação (flattening) que segue determinados constrangimentos técnicos (Araújo, 2018b) e que em geral não será uma isometria. É esta terminologia que utilizaremos aqui. O caso cilíndrico pode ser visto como uma perspetiva esférica parcial, se o identificarmos com a sua projeção radial sobre a esfera, que cobrirá uma região parcial da mesma. A planificação do cilindro corresponde então a uma planificação dessa região da esfera e, portanto, pode ser inserida no esquema teórico das perspetivas esféricas. Neste caso, a anamorfose cilíndrica é o desenho obtido na superfície cilíndrica por projeção cónica em direção ao ponto do observador; a perspetiva cilíndrica é

o mesmo desenho, quando cortado e desenrolado no plano. Neste caso particular, a planificação, como já referimos, é uma isometria. As projeções de linhas retas espaciais sobre a anamorfose cilíndrica são arcos de elipse; as mesmas curvas, quando planificadas na perspectiva, são arcos de sinusoides (Araújo, 2020a). No caso da anamorfose, os arcos de elipse parecem perfeitamente retos a um observador que coloque o seu olho no ponto correto; no caso da perspectiva não existe qualquer ponto que permite recuperar o efeito mimético – as linhas aparecem necessariamente curvas.

Em termos práticos, a relação objetiva entre as duas construções pode ser trabalhada usando uma construção de geometria descritiva (Araújo, 2014).

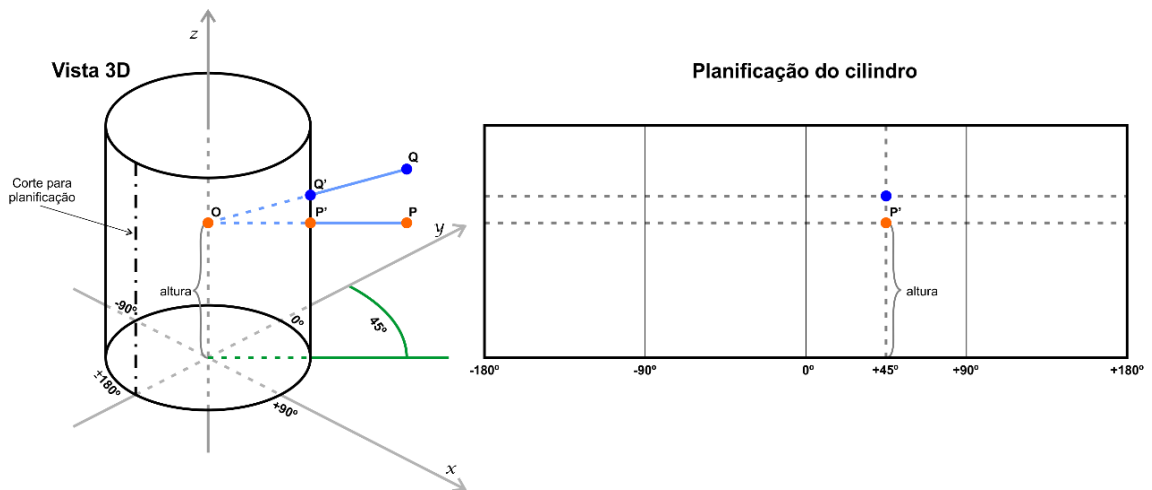


Figura 4.34 Projeção de dois pontos sobre a superfície do cilindro e planificação do cilindro

Na figura 4.37 vemos no topo esquerdo uma vista lateral do cilindro e no fundo-esquerda uma vista de topo. A partir destas duas vistas obtemos a projeção cónica de um ponto sobre o cilindro, que pode ser transportada para o cilindro aberto. A altura do ponto é transportada diretamente – lateralmente – a partir da vista lateral enquanto que a posição longitudinal é lida na vista de topo com um goniómetro e transportada proporcionalmente no cilindro aberto.

Esta mesma construção permite obter, projetando ponto a ponto e interpolando por segmentos, as imagens anamórficas e de perspectiva de linhas retas dadas. Na Figura 4.37 vemos a construção de duas linhas retas perpendiculares à vista lateral. O resultado da projeção de cada linha é metade de uma elipse no cilindro, que, na construção correspondente em perspectiva cilíndrica, é metade de uma curva sinusoidal.

O diagrama 4.37 realiza diretamente a construção desta senoide e a elipse seria recuperada recortando o retângulo e colando-o para reformar o cilindro. Esta elipse, vista do ponto O no eixo do cilindro, pareceria de novo uma linha reta, recuperando o carácter mimético da anamorfose cónica. Crucialmente importante é o facto de que esta reta tem dois pontos de fuga, que figuram tanto na anamorfose como na perspectiva. Note-se que as duas sinusoides da figura 3.38 convergem nestes dois pontos, diametralmente opostos no cilindro. As sinusoides diferem na sua forma, que fica determinada pelos dois pontos de fuga comuns e pela altura do apex (ponto mais alto) da curva. No caso da perspectiva cilíndrica, não sendo uma perspectiva esférica total, isto só será verdade se as retas em questão não tiverem uma inclinação demasiado grande. De facto, uma reta, em perspectiva/anamorfose cilíndrica, pode apresentar entre zero e dois pontos de fuga. Em perspectiva/anamorfose esférica propriamente dita a situação é muito mais simétrica: uma reta tem sempre exatamente dois pontos de fuga, definidos na anamorfose sobre a esfera e transportados para o desenho plano em perspectiva esférica. Já referimos que Araújo defende (2018b, 2021) uma estratégia geral para lidar com o problema de traçar as imagens das retas numa perspectiva esférica geral; essa estratégia implica considerar sempre, não as retas em si, mas os planos que estas definem através do centro O da esfera visual. Cada reta define um plano através de O, e esse plano define uma geodésica (grande círculo) na esfera que rodeia o olho do observador. A geodésica é caracterizada pelo seu apex (Araújo, 2019; 2021).

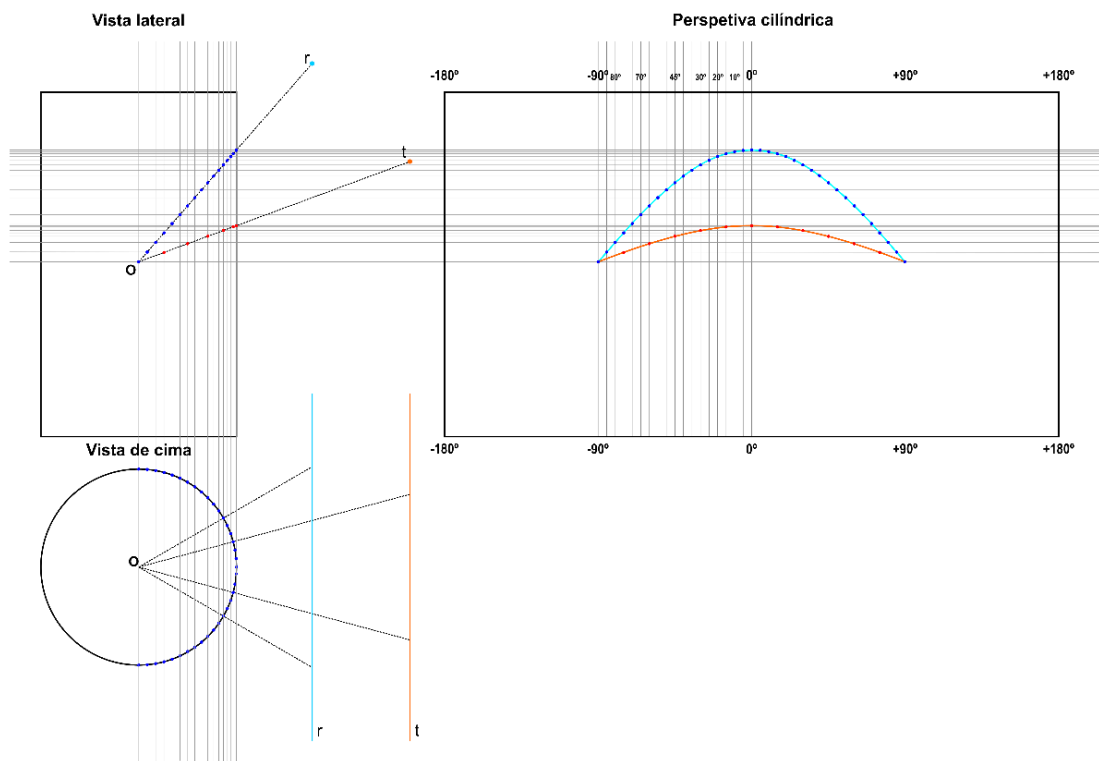


Figura 4.35 Construção geométrica da anamorfose de duas linhas sobre o cilindro

A imagem da reta é obtida desenhando primeiro esta geodésica e, de seguida, seccionando-a nos seus pontos de fuga, seleccionando assim a sua metade (meridiano) que corresponde à imagem da reta pretendida. Esta estratégia é válida em particular para a perspetiva cilíndrica, quando vista como perspetiva esférica parcial. Na figura 4.38 vemos que a imagem da reta é uma metade da senoide completa, que é a imagem do plano que passa pela reta e pelo ponto do observador, e que corresponderia a metade de um grande círculo de uma esfera centrada no ponto O.

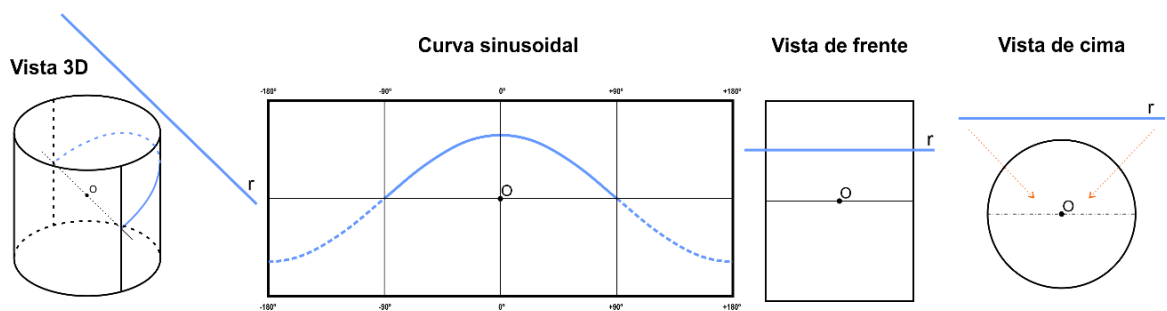


Figura 4.36 Projeção de uma reta sobre a superfície do cilindro

De acordo com a definição dada por Araújo (2020a; 2021), os pontos de fuga são definidos logo ao nível da anamorfose e os pontos de fuga da perspectiva são definidos como a imagem destes no plano. Nesta definição os pontos de fuga de uma linha são inerentes à mesma e não dependem de qualquer projeção específica, definindo-se como sendo os dois raios que passam por O e são paralelos à linha. Esta visão da perspectiva em dois passos (anamorfose seguida de planificação), sendo apenas conveniente no caso da perspectiva cilíndrica, mostra-se fundamental para perceber a perspectiva esférica. Resolver uma perspectiva esférica consiste em classificar as formas das projeções das geodésicas (por exemplo, sinusoides no caso da perspectiva cilíndrica quando vista como perspectiva esférica parcial) e encontrar formas eficientes de desenhar as suas imagens com meios elementares – por exemplo com régua e compasso. Esta última condição define a diferença entre uma perspectiva e uma mera projeção. Um computador pode facilmente renderizar qualquer uma das projeções cartográficas da esfera visual por força bruta, calculando a imagem ponto a ponto. Mas são necessárias estratégias especiais para desenhar à mão as perspectivas correspondentes.

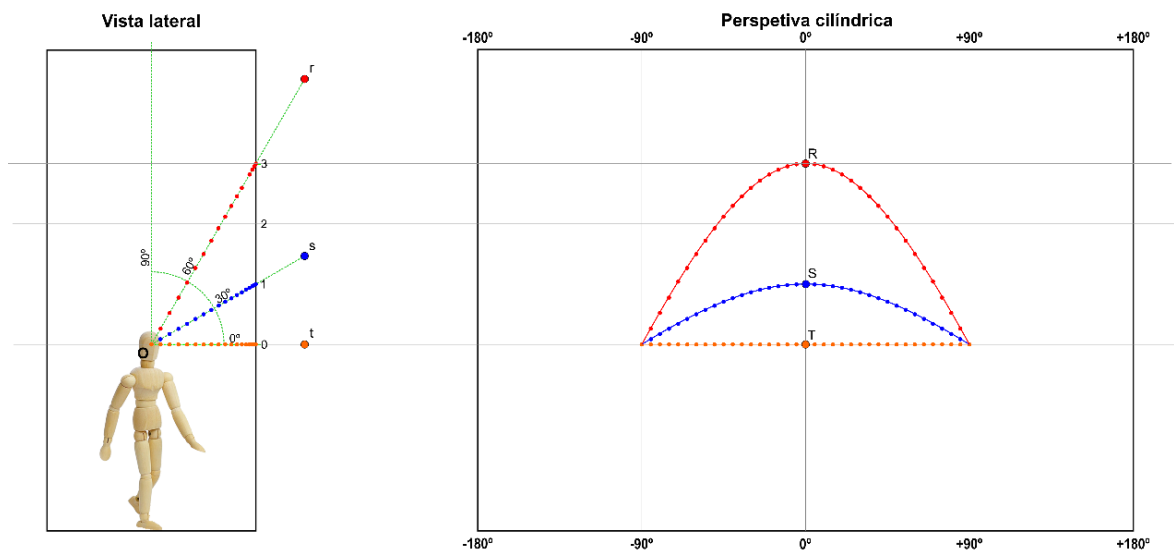


Figura 4.37 Projeção de três pontos e limitação do corte do cilindro

Uma perspectiva pode então ser vista não como uma mera projeção, mas como um edifício conceptual que permite a um desenhador humano efetuar o desenho imersivo de um

ambiente de forma compatível com os recursos e limitações da mente e mão humanas (Araújo, 2018b; 2021).

Passemos agora a analisar o caso da perspectiva esférica. Se a anamorfose cilíndrica tem um certo carácter “imersivo”, capturando tudo o que rodeia o observador para uma rotação a 360 graus em torno do eixo dos z , está, no entanto, limitada verticalmente pela altura em que é feito o corte do cilindro (cf. Figura 4.39). É isto que faz com que certas retas não tenham dois pontos de fuga nesta perspectiva. A esfera, pelo contrário, permite capturar, por projecção radial sobre a sua superfície, tudo aquilo que rodeia o observador. Resta saber como passar esta informação para o plano. Como já referimos, isso é essencialmente cartografia, e como é habitual na cartografia isso leva a deformações; a imagem resultante no plano preserva toda a informação visual, mas perde o carácter anamórfico. Isto é compreensível a partir do exemplo menos abstrato do cilindro. A grande diferença é que, no caso esférico, as deformações podem ser mais variadas, já que a planificação da esfera não é única. Por exemplo, no caso equirretangular, as horizontais transformam-se nas curvas da figura 4.40.

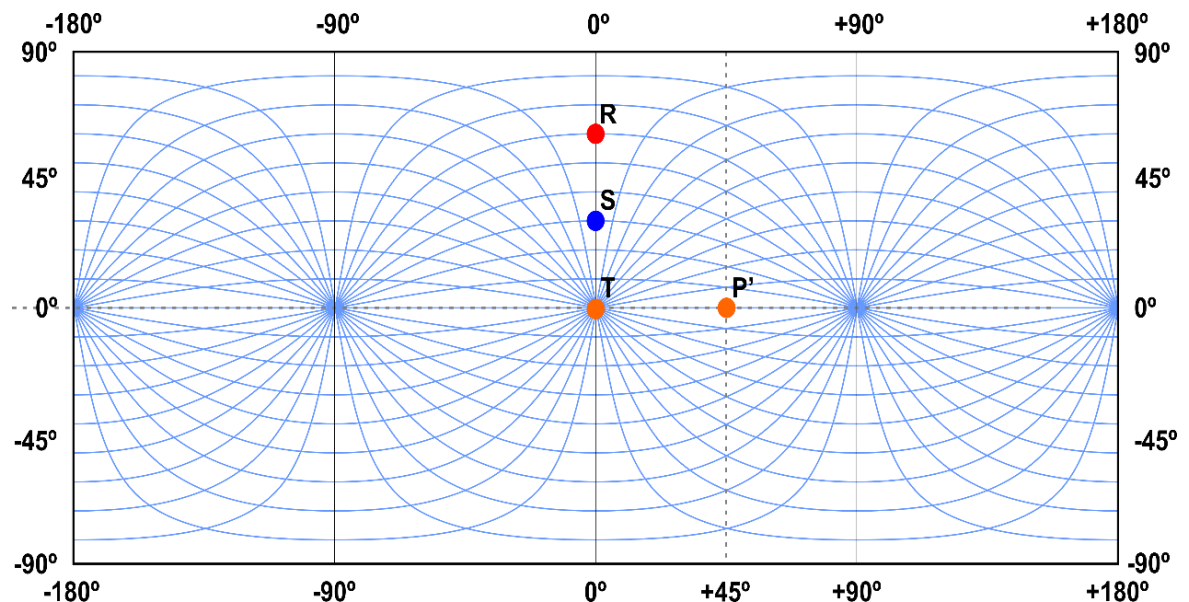


Figura 4.38 Grelha equirretangular com perspectiva dos pontos P', R, S e T

Estas são aproximadamente sinusoides até aos 30 graus de altura angular do apex, são aproximadamente arcos de circunferência entre os 30 e os 60 graus, e depois adquirem um aspeto achatado particular acima dos 60 graus. Em “Drawing equirectangular VR panoramas with ruler, compass, and protractor” Araújo (2018a) apresenta um método para desenhar estas curvas por régua e compasso com operações de geometria descritiva, e um método de grelha móvel para obter todas as imagens de retas a partir de uma grelha fixa de horizontais. Este último método permite a utilização menos penosa desta perspetiva num contexto de desenho urbano (onde régua e compasso podem ser um impedimento ao desenho natural), ou num contexto educativo com estudantes mais jovens, como veremos adiante.

Como já referimos, as formas das curvas geodésicas – e das projeções de linhas, bem como as suas disposições relativas na imagem da projeção – podem variar muito de uma perspetiva esférica para outra. Esta diversidade, além de dar origem a problemas geométricos, cria possibilidades artísticas e expressivas, que foram e são exploradas por um número crescente de artistas. Por exemplo, Nathan Walsh (cf. Figura 4.41) cria paisagens urbanas panorâmicas cilíndricas com uma expressividade que depende em grande parte da forma da projeção utilizada. Barre e Flocon fizeram os primeiros desenhos sistemáticos em projeção azimutal equidistante de 180 graus, que corresponde a um aspeto de “olho-de-peixe” familiar a quem faz fotografia com lentes assim denominadas.



Figura 4.39 Desenho preparatório e trabalho final de NY6AM, Nathan Walsh¹²¹

¹²¹ <https://www.nathanwalsh.net/>

G. Michel (2013) executou desenhos pioneiros no contexto de *urban sketching* e desenho arquitetónico utilizando perspectivas em olho-de-peixe e perspectivas equirretangulares. A. B. Araújo (2020b) explora essas mesmas perspectivas com uma ênfase no *desenho racional*, utilizando o desenho urbano como pretexto para resolver problemas geométricos.

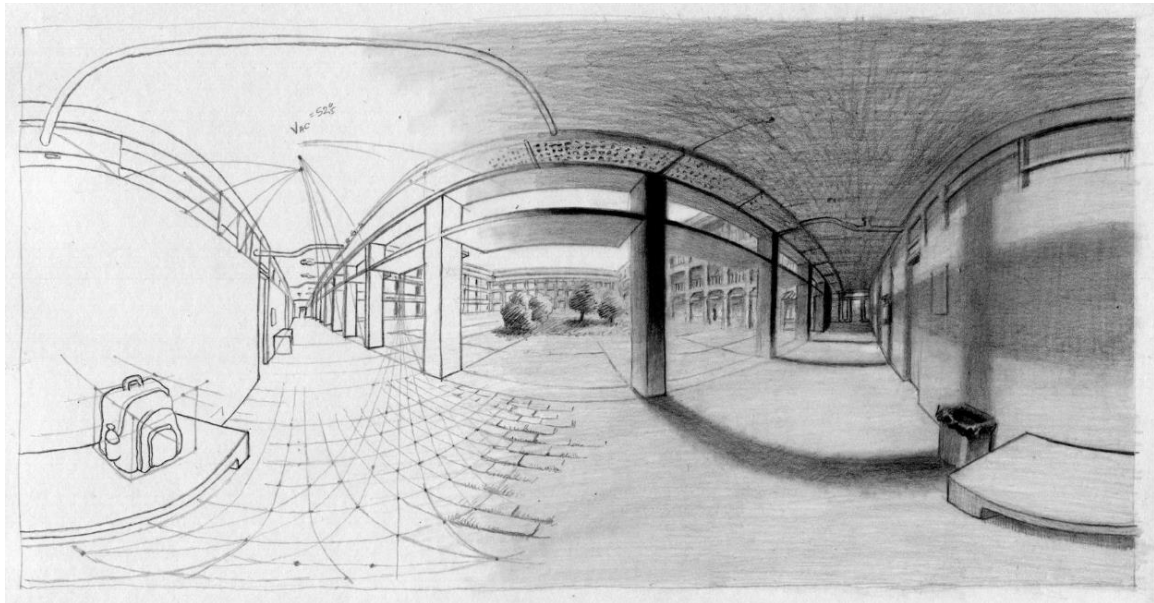


Figura 4.40 ISEL: Desenho de perspectiva para Panoramas Imersivos, António Araújo¹²²

Em *Exploring new hybrid media for immersive drawing and collage*, L.F. Olivero explora as perspectivas equirretangular e cúbica com um carácter surrealista¹²³ e S. Antinozzi realiza colagens que integram pinturas antigas com fotografia equirretangular contemporânea (Araújo et al., 2019). Chiara Masieri Sgrinzatto (2021) utiliza perspectivas equirretangulares desenhadas à mão em contextos de ilustração e publicidade¹²⁴. Rossi et al. (2021) discutem as novas possibilidades criativas e expressivas para o design e arquitetura que decorrem das formas estéticas distintas destas perspectivas, bem como da possibilidade de recuperar a visão anamórfica a partir da utilização de visualizações de Realidade Virtual. É importante

¹²² <http://www.univ-ab.pt/~aaraujo/equirectangular.html>

¹²³ <https://lufo.art/>

¹²⁴ <https://www.chiaramasierosgrinzatto.com/>

não esquecer ainda a existência de uma terceira interpretação da mesma informação visual, que é a construção física da anamorfose em si numa superfície material – seja numa esfera propriamente dita [Dick Termes foi um pioneiro deste tipo de representação com as suas *Termespheres* (Termes, 1991)] seja numa superfície topologicamente equivalente como um cubo (Olivero et al., 2019). O conjunto destes três objetos pode ser visto como um *modelo híbrido* (Olivero, 2021) que apresenta três interpretações complementares – físicas e virtuais - de uma mesma informação visual.

Em *Cardboarding Mixed Reality with Dürer Machines*, (Araújo, 2017a) argumenta que o avanço dos panoramas VR coloca nas mãos de cada artista a possibilidade de criar anamorfozes imersivas à maneira de um Andrea Pozzo, sem o custo que era necessário no tempo deste – a tecnológica, argumenta, não nos traz um avanço em termos conceptuais, tanto como um avanço económico – temos 60 *frames* por segundo em vez de uma *frame* por década, e este avanço quantitativo é de tal ordem que cria uma diferença qualitativa de possibilidades. Argumenta ainda que esta interação entre desenho e tecnologia pode, se bem aproveitada didaticamente, potenciar uma melhor compreensão de ambos os campos e a novas possibilidades didáticas para o ensino tanto do desenho e da perspetiva como das próprias tecnologias digitais (Araújo, 2017a, 2020a). Baseado na noção didática de *cardboarding* (uma redução deliberada dos conceitos digitais à sua expressão tecnológica mais simples) e na definição imersiva de anamorfose e perspetiva que discutimos acima, este autor apresenta um itinerário aplicado ao ensino do desenho imersivo e da realidade mista no contexto de uma cadeira de doutoramento (no programa de doutoramento em Média-Arte Digital da Universidade Aberta) e argumenta que, sendo estas noções imersivas de perspetiva e anamorfose mais simétricas e conceptualmente simples do que as noções clássicas (e derivando estas últimas matematicamente das primeiras) que uma adaptação destes conceitos poderia ser produtiva mesmo ao nível do ensino elementar da perspetiva. Ou seja, que devidamente adaptada, a ordem seguida no ensino elementar da perspetiva deveria ser a que é conceptualmente e matematicamente natural em vez daquela que – defende – é apenas o fruto do acidente histórico (Araújo, 2021). É esta ideia que desenvolvemos neste trabalho, transformando-a num programa efetivo e testando-a no terreno. Claro que a adaptação ao 9º ano de um conceito didático

inicialmente planeado para estudantes do ensino superior implica uma adaptação considerável, que reduza a abstração dos conceitos em jogo e os torne visíveis e concretos.

Para isto é essencial a conexão entre as anamorfoses e as visualizações de Realidade Virtual. Como referimos anteriormente, uma perspectiva curvilínea central pode ser vista como um desdobramento a dois tempos, isto é, uma anamorfose cônica seguida de um achatamento. Por sua vez, a tecnologia da Realidade Virtual inverte a operação, dando lugar a uma perspectiva esférica analógica, permitindo que o desenho à mão, adquira o seu carácter anamórfico. Tanto no contexto educativo, como numa dimensão mais lúdica, as tecnologias digitais permitem que o utilizador comprove a correção e a qualidade da sua construção, de uma forma direta e imediata. Admitindo que, em primeira instância, um desenho em perspectiva curvilínea possa parecer de difícil interpretação, a correspondente anamorfose permite, facilmente, a sua interpretação já que se assume como uma reconfiguração da realidade. Deste modo, as aplicações de Realidade Virtual (Scherotter, 2018; Araújo, 2019; Olivero et al., 2022) para perspectivas curvilíneas garantem ao utilizador a possibilidade de ajuizar sobre o sucesso ou não da experiência, já que uma linha desenhada em perspectiva esférica deverá parecer reta, numa reprodução mimética da realidade. No âmbito da implementação prática desta investigação, utilizámos as aplicações para Android *PhotoSphere* e *360° Sphere Viewer Lite*. Este tipo de interação entre o desenho analógico e o dispositivo de visualização digital, que permite uma visualização panorâmica 3D, favorece o desenvolvimento artístico, acrescenta aditivos motivacionais, facilita a autonomia e promove a emancipação pedagógica do utilizador, na medida em que não existe um modo de leitura passivo e, portanto, exige do utilizador a necessidade de resolver problemas geométricos que derivam de propósitos estéticos. Para que este processo se traduza numa experiência educativa de sucesso torna-se indispensável dominar todo o método de traçar perspectivas à mão descrito por Araújo no artigo “Guidelines for Drawing Immersive Panoramas in Equirectangular Perspective” (Araújo, 2017b) e, de forma mais desenvolvida, em “Drawing Equirectangular VR Panoramas with Ruler, Compass, and Protractor” (Araújo, 2018a).

A nossa opção pela escolha da perspectiva equirretangular para a implementação das atividades práticas baseou-se no facto de ser semelhante à perspectiva cilíndrica, designadamente, nos ângulos menores e na possibilidade de ser demonstrada empiricamente através de um artefacto analógico que concebemos para o efeito (vide capítulo da implementação). Por outro lado, esta perspectiva possui por base uma grelha com a proporção 2:1 (360x180) compatível com as aplicações digitais para Realidade Virtual.

Capítulo 5 – METODOLOGIA DE INVESTIGAÇÃO

5.1. Opções metodológicas

Prosseguimos uma linha de investigação inspirada na metodologia da investigação-ação, no âmbito do paradigma crítico da investigação educacional, por se tratar de uma abordagem que suporta os conceitos inerentes a uma prática reflexiva e investigativa (Coutinho, 2011), permitindo ainda envolver a aplicação dos novos recursos digitais na sala de aula. Hoje em dia, quase todos os alunos possuem um *smartphone*, que combina enormes potencialidades de exploração educativa e poderá ser utilizado na sala de aula com benefícios evidentes quer para a motivação dos alunos, quer para a melhoria dos resultados escolares e educativos. Para Coutinho et al. (2009, p. 362), a investigação-ação constitui “uma metodologia de pesquisa, essencialmente prática e aplicada, que se rege pela necessidade de resolver problemas reais” que encerra, entre outros aspetos, os seguintes: i) é participativa, pois as pessoas trabalham com a intenção de melhorar as suas práticas; ii) é colaborativa, realiza-se pelas pessoas implicadas no grupo; iii) promove o desenvolvimento de comunidades críticas, na medida em que as pessoas participam e colaboram em todas as fases do processo de investigação; iv) é um processo sistemático de aprendizagem orientado para a prática, v) fomenta a análise crítica das situações (Kemmis & McTaggart, 1992). Para Elliot (1994), a utilização da investigação-ação no campo educativo reveste-se de importância primordial já que esta se centra na descoberta e resolução de problemas com que os professores se deparam, constituindo uma prática reflexiva que incorpora a teoria na prática educativa. Como sustentam Veiga Simão et al. (2009, p. 67), “a investigação-ação colaborativa induz os professores a teorizar acerca das suas práticas, questionando, nos seus contextos, a ação e as suas consequências e compreendendo as relações entre a circunstância, as ações e as consequências nas suas próprias vidas. (...) Pressupõe um processo de aprendizagem focalizado, fundamentalmente, na planificação da ação e na avaliação dos resultados”.

Adotámos, assim, uma linha de investigação na perspectiva da *a/r/tografia* (que traduz uma metáfora que significa *Artist, Researcher and Teacher*) enquanto forma de investigação

baseada nas artes, no âmbito das recentes tendências de *Arts-Based Educational Research* ou simplesmente *Arts-Based Research*. Esta metodologia de investigação assenta na pesquisa educacional baseada em arte e tem subjacente os estudos levados a cabo por Elliot Eisner (1994, 2005), que sustenta que as artes são importantes para o desenvolvimento de habilidades do pensamento crítico. Esta metodologia de investigação encerra uma forma mais envolvente de abordar o objeto de investigação através de uma linguagem artística, mais eclética, onde se pretende ampliar e aprofundar a compreensão sobre o objeto investigado.

Esta perspetiva é compatível com a metodologia da investigação-ação, na medida em que se adequa à realidade, a fenómenos que não são estáticos, ou predeterminados, mas que se encontram em processo (e em permanente transformação). Enquadra-se, portanto, no paradigma interpretativo ou hermenêutico e centra-se na compreensão do significado que as pessoas atribuem a uma determinada realidade ou fenómeno. Aproxima-se, ainda, do paradigma sociocrítico, pela sua natureza reflexiva, dinâmica, participativa e até alternativa na medida em que articula investigação, ação e reflexão orientada para a melhoria e a transformação (Coutinho, 2011; Sousa, 2009).

5.2. A/r/tografia e metodologia baseada em arte

A metodologia de investigação em arte digital computacional segue os pressupostos da a/r/tografia no processo de criação artística. Esta abordagem enquadra-se numa perspetiva mais ampla conhecida como *Arts-Based Research* ou *Arts-Based Educational Research*. Discutimos o seu enquadramento nos paradigmas interpretativo e crítico, procurando evidenciar aspetos da investigação qualitativa, fundamentais para a compreensão e valorização dos contextos na produção em média-arte digital e na construção do conhecimento artístico.

O conceito de paradigma deve-se a Thomas Kuhn (1962) que, na sua obra *The Structure of Scientific Revolution*, o definiu como sendo, o conjunto de crenças, valores, técnicas

partilhadas pelos membros de uma dada comunidade científica e, ainda, como um modelo para o “que” e para o “como” investigar num determinado contexto histórico/social.

Atualmente, a opinião mais consensual aponta para a existência de três grandes paradigmas na investigação: o paradigma positivista, o paradigma interpretativo e o paradigma sociocrítico (Morin, 1983; Bisquerra, 1989; Latorre et al., 1996).

Thomas Barone e Elliot Eisner sistematizam a “investigação baseada em artes” como um novo campo metodológico e como uma forma de investigação inovadora para melhorar a compreensão sobre determinadas atividades humanas através de meios e processos artísticos. Estes autores referem que esta metodologia de investigação pretende redefinir e ampliar o guarda chuva conceptual que define o significado da investigação (Barone & Eisner, 2012).

Como refere Rita Irwin (2004, p. 27), na última década, houve um grande crescimento de formas de investigação baseada nas artes, nomeadamente através da narrativa, da autobiografia, da etnografia performativa, da indagação poética, do autoestudo, entre outras formas criativas de fazer investigação. A autora refere-se a uma investigação dinâmica que oferece um ponto de convergência ao mesmo tempo que respeita a divergência do enfoque investigativo.

Com base nas três formas de pensamento de Aristóteles “*knowing* (teoria), *doing* (*praxis*), *and making* (*poesis*)”, a autora sugere que é nesta *poesis* onde se desenvolve a produção artística. A autora integra a teoria e a prática (investigação) nestas três formas de pensamento “não apenas como entidades separadas, mas também como identidades conectadas e integradas” e que estão sempre presentes na ação do artista (Irwin, 2004, p. 28). Nesta discussão entre teoria, prática e *poesis* de Aristóteles, ou entre investigação, ensino e arte, Rita Irwin sugere que estamos a passar para uma intertextualidade e uma intratextualidade de categorias mais complexa. Nessa visão dialética sugere a existência de um terceiro espaço enquanto instância híbrida de investigação: “A dialectical stance no longer works unless we push the very nature of the intention embodied within a dialectical

stance to a multilectical view that encourages thirdness, in-between space that exists between and among categories” (Irwin, 2004, p. 28).

Etimologicamente, o prefixo ART no termo a/r/tografia traduz uma metáfora que significa *Artist* (artista), *Researcher* (investigador) e *Teacher* (professor) conjugado com o sufixo grafia (do grego *γράφειν*, escrita). Trata-se de uma metodologia de investigação que encerra uma forma mais envolvente de abordar o objeto de investigação através de uma linguagem artística, mais eclética, onde se pretende ampliar e aprofundar a compreensão sobre o objeto investigado.

Rita Irwin (2004, p. 29) sugere que os “artist-researcher-teachers” (ART) são habitantes de um novo espaço investigativo na medida em que (re)criam (re)investigam e (re)aprendem novos modos de entendimento ou de compreensão de apreciação e de representação do mundo. A autora fala na existência de uma “métissage” (como uma linguagem das terras de fronteira) que envolve a experiência estética que acontece na relação ou no modo como fluem o intelecto, os sentimentos e a prática.

Do ponto de vista investigativo, o enfoque nestes espaços implica uma reconstrução das identidades do investigador, já que vive nesta área de fronteira e é confrontado com múltiplas identidades. Por este motivo, a “métissage” é um ato de interdisciplinaridade que cria pontes e novas formas de conhecimento que proporcionam um espaço para a análise e compreensão dos processos de construção de sentido da própria realidade. Rita Irwin (2004, p. 31) sugere que a “métissage” é uma metáfora poderosa para o ART que integra estes papéis na sua vida pessoal e profissional, mas também traduz uma metáfora para os processos e produtos que são criados e utilizados na atividade artística. Não se trata de um pensamento dicotómico, mas antes de um pensamento dialógico e racional. São dimensões distintas, mas que se articulam no mesmo elemento, não se confundem e não se sobrepõem.

A autora refere, ainda, que os ART vivem as suas próprias práticas, representam as suas próprias conceções ou entendimentos e questionam os seus posicionamentos na medida em que integram o saber, o fazer e o criar através das experiências estéticas que

transmitem sentido em vez de factos. Esta perspetiva abre novos espaços para a investigação onde se confrontam múltiplas e difusas fronteiras. Nestes espaços, o ART atravessa os diversos papéis não sendo possível determinar onde atua exatamente o artista, o investigador ou onde recomeça o professor. Esta perspetiva representa uma múltipla variação de papéis que não é possível delimitar. A mesma autora refere, ainda, que a teoria como ART é ao mesmo tempo textual e visual e a a/r/tografia como “métissage” é simultaneamente visual e interlingual, na medida em que as diferentes linguagens interagem entre si (Irwin, 2004, p. 32).

Esta perspetiva encontra-se alinhada com a metodologia da investigação-ação, na medida em que se adequa à realidade, a fenómenos que não são estáticos, ou predeterminados, mas que se encontram em processo e em permanente transformação. Enquadra-se, portanto, no paradigma interpretativo ou hermenêutico e centra-se na compreensão do significado que as pessoas atribuem a uma determinada realidade ou fenómeno. Aproxima-se, ainda, do paradigma sociocrítico, pela sua natureza reflexiva, dinâmica, participativa e até alternativa na medida em que articula investigação e ação orientando-se para a transformação das pessoas, dos contextos e das práticas.

Para Rita Irwin (2004, p. 34), a investigação pode ser designada de autoetnografia por que se situa nos espaços de fronteira e inclui qualquer forma de investigação que procura confrontar ou compreender a complexidade das relações humanas nos seus contextos temporais, espaciais, culturais e históricos. No dizer de Boaventura Santos (2000, p. 18), a valorização de um saber que separa o sujeito do objeto da investigação deixa de lado uma importante premissa: que “todo o conhecimento é autoconhecimento” porque o sujeito, ao investigar, interfere e transforma a leitura do objeto.

Deste modo, o principal argumento das metodologias baseadas em arte consiste em deslocar intencionalmente os modos estabelecidos de se fazer investigação e produzir conhecimento em arte, aceitando categorias como a incerteza, a imaginação, a ilusão, a introspeção, a visualização e o dinamismo (Dias, 2013, p. 4). Assim, as metodologias de investigação em arte, ao contemplarem formas alternativas de compreensão e de representação dos artefactos artísticos, aumentam a riqueza e a complexidade das criações

artísticas, promovendo múltiplos níveis de envolvimento no domínio tecnológico, mas sobretudo as dimensões cognitiva e emocional da investigação.

Portanto, esta atitude investigativa é mais compatível com uma aproximação aos paradigmas interpretativistas (Interpretativismo, Construtivismo e a Teoria Crítica) na medida em que não pretende explicar fenómenos nem gerar teorias, mas em que se destaca a importância de explicar pressupostos e pontos de partida. Estas teorias baseiam-se, sobretudo, no rigor e sistematicidade das metodologias, dos processos e dos procedimentos que utilizam. A investigação é baseada na construção de sentido e compreensão de significados que são atribuídos aos artefactos enquanto produção artística. Possui um carácter holístico, com um enfoque no processo, na compreensão da realidade com base na experiência, nas percepções e significados dos sujeitos envolvidos. Portanto, não se pode falar de quantificação e objetividade, nem estabelecer comparações. A produção de conhecimento está frequentemente associada à atribuição de novos significados ou interpretações, onde os artistas progredem de uma ideia original (conceito) até ao produto final (Marcos et al., 2009).

Sullivan (2005, p. 99) refere que é nesta prática criativa que deverão emergir novas formas de investigação e avança que a própria prática das artes visuais é investigação. Refere, ainda, que as artes visuais constituem uma arte de conhecimento eclética e híbrida na medida em que está firmemente centrada na criação de arte e também envolve práticas de escrita de arte.

Deste modo, a natureza da prática artística como investigação é um processo criativo e crítico que reconhece que o conhecimento e a compreensão estão em constante mudança. Por esta razão, os métodos de investigação são mais flexíveis, adaptados a diferentes propósitos, onde os resultados não podem, muitas vezes, ser antecipados.

Podemos concluir que as metodologias baseadas em arte são mais compatíveis com os paradigmas interpretativo e sociocrítico que apelam a uma racionalidade alternativa ao positivismo, na mesma linha de pensamento de Habermas que apela a uma “racionalidade da compreensão” ou da “racionalidade comunicativa”.

Sullivan (2005) avança que, se considerarmos que as práticas empiristas são concetuais, reflexivas e baseadas em disciplinas, que as práticas interpretativas são dialéticas (de interação), construtivistas e interdisciplinares e que as práticas críticas (que visam a transformação) são colaborativas e transdisciplinares, facilmente encontramos na confluência destes paradigmas as práticas das artes visuais, na medida em que são criadoras, críticas, reflexivas e pós-disciplinares. Na investigação baseada em arte o conhecimento é desenvolvido em camadas ou níveis de investigação, o que implica um modo alternativo na definição das questões de investigação e no modo como são identificadas e conceptualizadas.

Como sustenta o mesmo autor, a investigação artística vai buscar os problemas ao paradigma empirista, procurado sentido e significado para as vivências; daí a sua natureza interpretativa e a procura pelos novos espaços entre os espaços de que fala Rita Irwin. No domínio da prática investigativa, Sullivan (2005, p. 107) discute os métodos discursivos na investigação. Ao articular o paradigma interpretativista com o empirista, refere-se a uma dimensão de significado; na articulação entre o interpretativista e o crítico aponta para a dimensão de mudança que se traduz no método dialético; por sua vez, articulando o crítico e o empirista aborda a dimensão exploratória e o método de desconstrução.

Sullivan (2005) discute a prática artística como investigação transformadora e sugere quatro práticas reflexivas que remetem para a metodologia de investigação-ação. Em primeiro lugar, o autor refere-se à prática autorreflexiva que se descreve durante o processo de investigação e que diz respeito aos interesses pessoais, à inspiração criativa. Em segundo lugar, o artista investigador vai refletir sobre a investigação que recolheu para rever as estratégias concetuais usadas e considerar outras abordagens. Em terceiro lugar, chama a atenção para a capacidade de o investigador reflexivo estar aberto ao diálogo com a informação, isto é, ir ajustando e revelando à medida que vai avançando no processo criativo. Em quarto lugar, o prático reflexivo vai questionar o conteúdo e os contextos como situações problemáticas – tem a ver com a prática de questionamento e o interesse emancipatório de Habermas. Sullivan baseia-se no interesse emancipatório do agir, que implica o agir e a mudança: “This emancipatory interest offers opportunities for those most

directly involved in a common cause to enact artistic, social, political, educational, or cultural change” (Sullivan, 2005, p. 110).

Assim, este autor sugere que a investigação em arte estabelece uma relação entre vários quadros metodológicos e defende a prática da arte como investigação, dada a sua natureza dinâmica e complexa, potencialmente geradora da mudança. Para ele, a metáfora que melhor traduz a investigação em artes visuais é a metáfora da *braid*, que reflete o modo como a investigação em arte visual responde criativamente e criticamente a questões, ações e mudança em todos os níveis da teoria e da prática. Dentro destas relações entrelaçadas o autor aborda a investigação transformadora na medida em que vai articulando aspetos de várias teorias e entrelaçando elementos dos vários quadros metodológicos.

Por outro lado, Scrivener (2002) sugere que, quando se fala de investigação em arte visual, fala-se de produção de conhecimento. O autor coloca a criação e os produtos dessa criação no centro da investigação, isto é, a investigação baseada na prática. A criação da arte pode ser vista como geradora de conhecimento – um artefacto é criado com a intenção de comunicar conhecimento logo é suscetível de ser investigado.

Também refere que existem duas formas de aceder ao conhecimento: uma é através da experiência direta, outra será através da comunicação, isto é, a transferência de conhecimento de um indivíduo ou agência para outro indivíduo. O seu argumento é que a arte está relacionada com a comunicação e, portanto, na arte, a comunicação é feita através do artefacto na medida que concretiza a comunicação entre o artista e o seu público.

Neste caso, a investigação em arte não tem como objetivo gerar conhecimento no sentido tradicional, mas obter a compreensão dos fenómenos. No contexto da criação artística, Scrivener (2002) define investigação em arte como a criação original levada a cabo para gerar uma nova apreensão. Deste modo, o que distingue o investigador (*researcher*) do prático (*practitioner*) é a capacidade de fazer uma criação original de forma a produzir novas compreensões. O artista comunica algo através do seu artefacto.

Em suma, os investigadores em arte, ou na linha de pensamento de Rita Irwin os a/r/tografos, baseiam a sua ação investigativa nas experiências pessoais, na medida em que utilizam as artes para questionar, ponderar e teorizar novas questões e possibilidades. Esta investigação vivida encerra, de certo modo, uma forma de vida e um posicionamento perante o mundo que implica uma reflexão e uma contemplação que é a essência da a/r/tografia. Assim, os artistas investigadores estabelecem conexões entre o seu pensamento, ideias e experiências e utilizam os seus sentidos para desconstruir o significado das coisas. Neste processo, por vezes, envolvem os espetadores em processo de co-construção em que o significado é negociado entre o artista e a sua audiência resultando em reverberações, isto é, novos sentidos e compreensões da realidade.

Podemos, portanto, afirmar que a génese da a/r/tografia combina conceitos subjetivos, destacando-se o seu carácter holístico, de natureza processual e compreensiva, sendo mais adequada para o estudo de fenómenos e realidades nas quais se pode enquadrar a Média-Arte Digital.

5.3. Considerações curriculares

O modo como se perspetiva o currículo do ponto de vista conceptual e legal influencia o posicionamento do professor e do aluno no processo do seu desenvolvimento. Como sustenta (Colom, 1993, p. 98), “da capacidade de abertura de um currículo face à própria realidade escolar dependerá proporcionalmente a possibilidade do professor conceber o currículo a partir da perspectiva do aluno, dos problemas ou da acção heurística ou investigativa” (Colom, 1993, p. 98). O processo de desenvolvimento do currículo possui, portanto, um carácter dinâmico e complexo e encontra-se em permanente construção (Ribeiro, 1996). Por isso, desenvolve-se ao longo de diferentes contextos e de distintas fases em que intervêm vários agentes curriculares (planificadores, decisores, editoras, professores) representando, deste modo, um “*continuum* que vai da máxima generalidade à máxima concretização” (Pacheco, 2001, p. 18). Neste sentido, o desenvolvimento do currículo é encarado como um processo sistémico em que todas as suas componentes interagem e se inter-relacionam, de forma coerente e lógica, mediante um processo

contínuo de interpretações sucessivas, o que reflete a linha de continuidade existente entre o currículo e o processo de ensino-aprendizagem, que constituem “duas faces da mesma realidade ou dois extremos da uma mesma linha” (Ribeiro, 1996, p. 23).

Assim, é fundamental compreender o currículo enquanto campo teórico e de ação que enquadra o trabalho do professor no contexto da escola e da sala de aula. Lorenzo (1994) salienta o tríptico carácter do currículo: *prescritivo*, uma vez que o ensino é sempre uma atividade intencional (uma prescrição do que se quer fazer na prática da escola e da aula, isto é, um guia da ação); *explicativo*, já que o currículo constitui uma oportunidade permanente para refletir sobre a ação educativa, para deliberar e explicar o que ocorre em cada contexto pedagógico e *prático*, porque o currículo melhora a prática de ensino.

Neste sentido, considera-se importante abordar as teorias curriculares, ainda que de forma geral, para compreender, entre outros aspetos, as diferentes formas de relacionar a teoria e a prática no contexto escolar, mas também o papel do professor e do aluno na concretização das propostas curriculares. Como refere Pacheco (2001), as teorias curriculares permitem sistematizar e fundamentar decisões sobre os fenómenos curriculares, no sentido de resolver problemas práticos da educação, servindo, deste modo, "de modelo de representação do real que se pretende organizado e problematizado" (Pacheco, 2001, p. 32). Neste sentido, seguiremos a síntese proposta por Pacheco (2001) que recolhe os contributos teóricos de vários autores [McNeil (1997) que apresenta quatro conceções de currículo; De Landsheere (1992) que sugere três diferentes tipos de currículo; Gimeno (1988) que apresenta quatro conceções de currículo; W. Pinar (1985) que aborda os processos de legitimação curricular; e ainda, os quatro modelos de currículo sugeridos por Holmes e Mclean (1992) subordinados à pergunta “que conhecimento é mais valioso?"]. Atendendo à complexidade de abordagem das teorias curriculares, em virtude da existência de diversas perspetivas de análise, Pacheco (2001) convoca os contributos teóricos de Kemmis (1988), em boa parte devedores dos fundamentos de Habermas, que alicerçam os seus interesses nas perspetivas de currículo como produto, como prática e como práxis.

5.3.1 Teoria curricular técnica

Esta teoria baseia-se no interesse técnico que admite o princípio de que as regras técnicas devem orientar a ação dos sujeitos. Baseia-se sobretudo num “discurso científico”, em que a “organização burocrática” e a “ação tecnicista” constituem as principais características desta teoria curricular, que encara o professor como um operário ou consumidor do currículo que engendra e domina as técnicas curriculares idealizadas pelos especialistas uma vez que se salvaguarda a legitimidade normativa (Pacheco, 2001). Nesta perspetiva, a relação teoria/prática está determinada por uma relação vertical e hierárquica.

Esta teoria tem subjacente uma racionalidade técnica decorrente da conceção de currículo como “um produto ou resultado, uma série de experiências de aprendizagem dos alunos, organizadas pela escola em função de um plano previamente determinado (Pacheco, 2001, p. 35). Assim se compreende que os princípios da eficácia e da rentabilidade, evidentes nesta orientação teórica, sejam facilmente compatibilizados com a formulação de objetivos comportamentais. Como representantes mais significativos desta teoria surgem os nomes de Tyler (1949) e Johnson (1967).

Deste modo, nesta teoria, “o conceito mais corrente de currículo está ligado a um plano estruturado de aprendizagem centrado nos conteúdos ou nos alunos ou ainda nos objetivos previamente formulados” (Pacheco, 2001, p. 37).

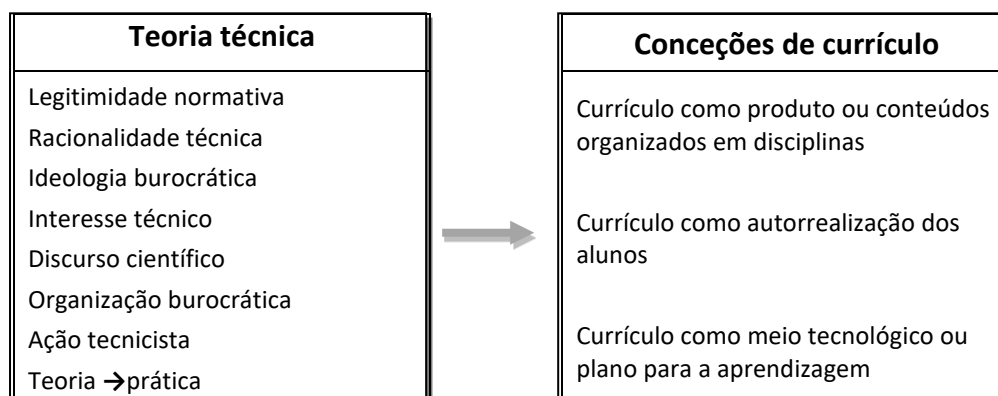


Figura 5.1 Breve fundamentação da teoria curricular técnica (Pacheco, 2001, p. 37).

5.3.2 Teoria curricular prática

Esta teoria, contrariamente ao interesse técnico que defendia a conformidade da ação com as regras, radica na perspectiva do interesse prático do saber de Habermas, que implica um juízo prudente e requer uma deliberação prática (Kemmis, 1993). Esta “prática racional” está relacionada com discussões curriculares dos anos setenta, sobretudo, no que se refere ao diálogo entre especialistas curriculares e professores, mas também com a consideração sobre a realização dessa mesma prática através de uma “organização liberal” do currículo. Neste sentido, uma legitimidade processual, uma racionalidade prática e uma ação pragmática convergem para a conceptualização fundamental, a partir da qual se desenvolve o currículo (Pacheco, 2001). Os autores mais representativos desta perspectiva são Schwab (1989), que enfatiza sobretudo o papel da linguagem na conceptualização do currículo, e Stenhouse (1987) que sublinha a função do professor no desenvolvimento curricular, realçando a sua atitude investigativa que deve estabelecer a ligação entre a intenção e a realização.

Stenhouse (1987) sustenta que o estudo do currículo implica a relação entre as suas duas aceções - projeto de ensino (o que se pretende fazer ou intenção) e esquema de análise do que se faz (realidade) argumentando que o currículo constitui “uma tentativa para comunicar os princípios e os aspectos essenciais de um propósito educativo, de tal forma que permaneça aberto a discussão crítica e possa ser efectivamente transposto para a prática” (Stenhouse, 1987, p. 29). Deste modo, alunos, professores, meios e conteúdos conjugam-se através da emergência da prática em que as situações curriculares não são suscetíveis de uma solução teórica, mas de uma solução prática (Pacheco, 2001). Mais do que um plano estruturado de ação, o currículo é concebido como uma referência para a resolução dos problemas práticos devendo ser equacionado, sobretudo, pela “arte da prática” e pela “deliberação prática” (Schwab, 1989).

Estes autores reforçam o pragmatismo curricular conceptualizando o currículo como uma prática e um processo de investigação que deve estabelecer relações entre intenção e realidade. Deste modo, o currículo deixa de ser visto como um produto ou resultado, sendo antes considerado uma hipótese de trabalho, um conjunto de princípios de procedimento

para o professor, não se tratando de algo acabado (Stenhouse, 1987). Portanto, cabe ao professor interpretar e aplicar o currículo, enquanto prática de negociação e discussão, em função dos contextos.

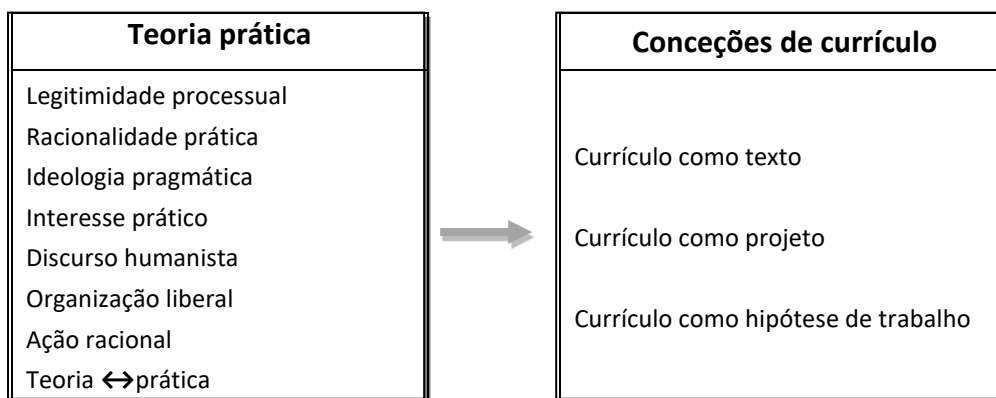


Figura 5.2 Breve fundamentação da teoria curricular prática (Pacheco, 2001, p. 40)

5.3.3 Teoria curricular crítica

Os princípios que presidem a esta teoria encontram fundamento nas ideias neomarxistas, fenomenológicas e existencialistas, na medida em que assenta no interesse emancipador dos sujeitos e na ciência social crítica (Pacheco, 2001). Constituem pressupostos desta teoria um discurso dialético e uma organização participativa, democrática e comunitária, que apresenta como característica principal a ação argumentativa ou emancipatória (Kemmis, 1993).

Decorre desta posição uma perspectiva emancipadora do currículo através do “conceito de práxis inerente ao interesse cognitivo crítico e que é constituído pela ação e pela reflexão” (Pacheco, 2001, p. 41). Nesta teoria, prevalecem “as visões críticas do currículo, podendo este definir-se como um interesse emancipatório, resultante dos interesses e das experiências desejadas por todos quantos participam nas atividades escolares” (Grundy, 1987, p. 115).

De acordo com esta teoria, o professor, dotado de uma consciência crítica, integra um grupo organizado segundo os seus interesses, tornando-se, deste modo, agente criativo comprometido na análise crítica das circunstâncias do processo educativo (Kemmis, 1993).

Nesta teoria, a prática é assumida como ponto de partida e, simultaneamente, como ponto de chegada.

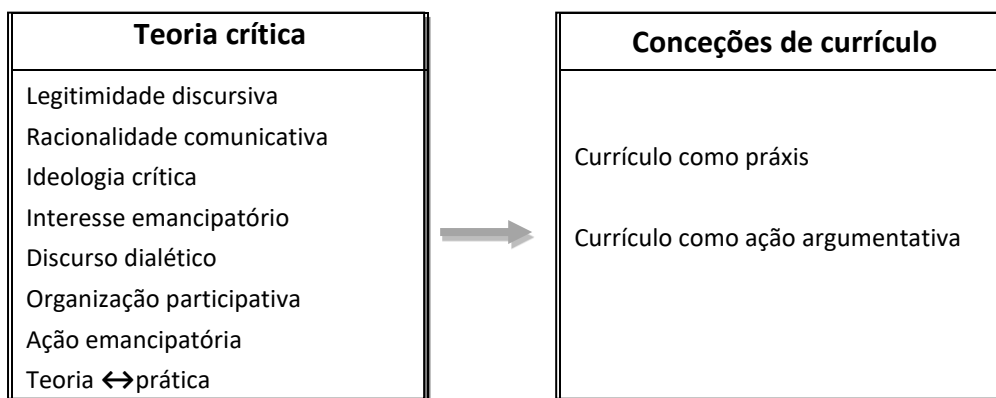


Figura 5.3 Breve fundamentação da teoria curricular crítica (Pacheco, 2001, p. 40)

No entender de Pacheco (2001, p. 41), no essencial, o que distingue as teorias curriculares é “o conceito de práxis inerente ao interesse cognitivo e que é constituído pela ação e reflexão [...] a práxis conduz, por um lado, à emancipação, e esta só ocorre em condições de justiça e de igualdade dos vários intervenientes no currículo e, por outro lado, à crítica da ideologia, [...] só possível pela reflexibilidade e pela ação autónoma”.

Em suma, podemos concluir que as teorias curriculares constituem diferentes abordagens das concepções sobre a realidade e traduzem formas de abordar os problemas práticos da educação (Gimeno, 1988, p. 44), enquadrando o posicionamento do professor no processo de desenvolvimento curricular, mormente no modo como este planifica e realiza o currículo em contexto escolar. No âmbito deste trabalho situamo-nos na perspetiva anglo-saxónica, na linha de Stenhouse (1987), que encara o currículo como ferramenta nas mãos do professor e a aula como um laboratório, o que exige por parte do professor um posicionamento mais interventivo enquanto “investigador da sua prática”. Uma concepção de currículo como processo aberto e flexível reconhece o papel do professor no desenvolvimento curricular e outorga-lhe o protagonismo em termos de realização. Como sublinha Pacheco (2001, p. 20), o currículo é um projeto “cujo processo de construção e desenvolvimento é interactivo e abarca várias dimensões, (...) implica uma unidade,

continuidade e interdependência entre o que se decide, ao nível do plano normativo, ou oficial, e ao nível do plano real, ou do processo de ensino-aprendizagem”.

5.4 Contextualização do estudo

O estudo foi realizado em duas turmas do 3º ciclo do ensino básico numa escola do norte de Portugal. As experiências aqui descritas fazem parte de um itinerário formativo, mais amplo, concebido no âmbito do Doutoramento em Média-Arte Digital, desenvolvido pela Universidade Aberta e pela Universidade do Algarve. Com este percurso educativo procurámos avaliar o impacto de uma nova metodologia para o estudo da perspetiva na disciplina de Educação Visual. Este itinerário formativo combina os princípios da anamorfose com as novas tecnologias baseadas na RV/RA/RM, explorando a utilização dos princípios de representação visual dos séc. XV a XVII, recorrendo a uma estratégia de complementaridade com a tecnologias digitais disponíveis nos *smartphones*.

O programa de Educação Visual do 9º ano de escolaridade prevê o desenvolvimento de uma unidade didática sobre sistemas de representação que inclui uma abordagem histórica aos contributos de Filippo Brunelleschi bem como aos fundamentos da perspetiva de *Albrecht Dürer*. No entanto, o tema das Anamorfoses é frequentemente tratado nos manuais escolares de Educação Visual com pouca relevância sendo, frequentemente, remetido para uma definição redutora de imagem deformada que utiliza uma grelha auxiliar distorcida. No âmbito deste estudo o objetivo foi dar uma nova centralidade aos fundamentos da perspetiva tal como hoje a conhecemos, estabelecendo uma relação conceptual com as atuais tecnologias de RV e RA.

Nesta investigação, seguimos a abordagem *Design-Based Research* (DBR) de Allan Collins (1990) e Ann Brown (1992) que pode ser usada para encontrar respostas aos problemas que desafiam os professores no contexto educativo, em particular, a integração de tecnologias e novos recursos educacionais na prática pedagógica.

Esta abordagem é adequada aos objetivos da investigação pelo seu carácter dinâmico, processual, contextual e participativo, uma vez que se trata de uma temática que permite

a aplicação dos novos recursos digitais na sala de aula. Hoje em dia, a generalidade dos alunos possui um *smartphone*, que apresenta enormes potencialidades de exploração educativa e que poderá ser utilizado com benefícios quer ao nível da motivação dos alunos, quer da melhoria das suas aprendizagens, mormente no estudo da perspectiva.

5.5 Caracterização dos participantes

Participaram neste estudo trinta e sete alunos de duas turmas do terceiro ciclo do ensino básico (9º ano), com idades compreendidas entre os 14 e os 16 anos de idade, de uma escola pública do norte de Portugal (cf. Gráfico 5.1).

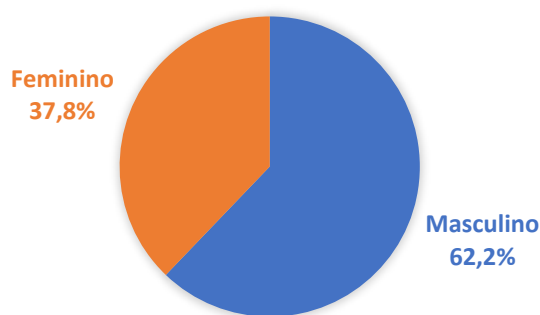


Gráfico 5.1 Caracterização dos alunos por sexo

De entre os participantes vinte e três são do sexo masculino e catorze são do sexo feminino. Esta amostra corresponde, aproximadamente, a 50,0% dos alunos do nono ano de escolaridade da escola, onde decorreu este estudo. Trata-se de uma amostra de conveniência já que corresponde às únicas turmas que me foram atribuídas como serviço docente.

Todos os alunos participantes neste estudo possuem computador com ligação à internet em casa. Quinze alunos (aproximadamente 40,5%) revelaram que possuem *tablet ou iPad*, por outro lado, vinte e nove alunos (aproximadamente 78,4%) possuem *smartphone*, mas nem todos possuem serviço de dados móveis (cf. Gráfico 5.2). No entanto, a escola fornece acesso à internet a todos os alunos através da rede *Wi-Fi*.

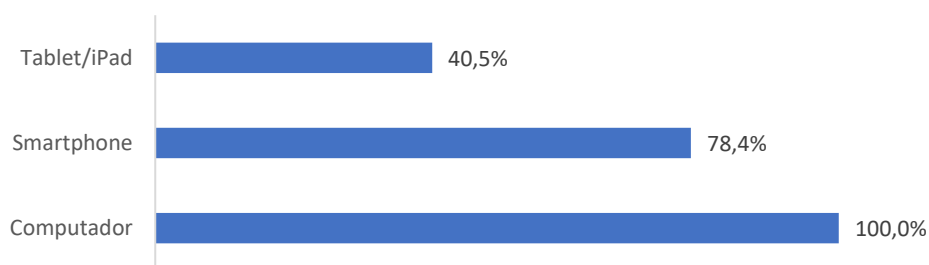


Gráfico 5.2 Tipo de equipamentos que os alunos possuem

A escola disponibilizou também, aos alunos que não possuem dispositivos móveis, equipamentos do tipo *tablets* ou *smartphones* para que todos pudessem participar neste projeto, garantindo, deste modo, o princípio de igualdade de oportunidades. Dos alunos que declararam possuir *smartphone* uma pequena parte 5,4% (dois alunos) reconheceu que habitualmente não o leva para a escola.

Relativamente ao tempo que os alunos passam na internet, 19,0% reconheceram que estão sempre ligados, 35,1% passam mais de três horas por dia ligado, 32,4% revelaram que estão ligados à internet entre uma hora e três horas por dia. Uma pequena minoria referiu que apenas se liga menos de uma hora por dia e dois alunos (5,4%) referiram que só acedem à internet aos fins de semana (cf. Gráfico 5.3).

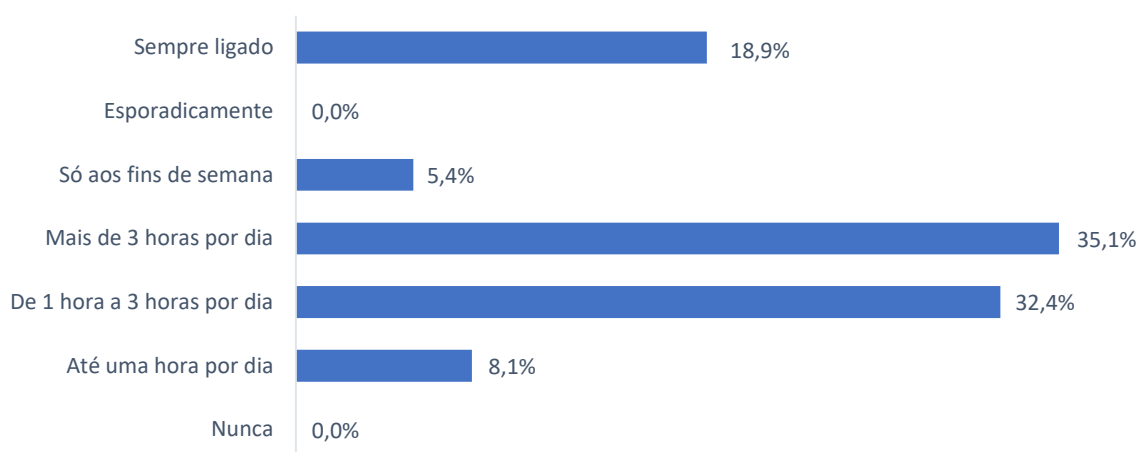


Gráfico 5.3 Quantidade de tempo durante o qual os alunos se ligam à internet

Os alunos reconheceram que se ligam à internet sobretudo para jogos online, participar em redes sociais, ver filmes ou ouvir música, seguir canais/blogues, consultar o e-mail e ainda para fazer pesquisas do seu interesse e realizar trabalhos escolares. A quase totalidade dos alunos que estiveram envolvidos neste estudo revelou que participa em redes sociais com regularidade.

As redes sociais mais utilizadas pelos alunos são o *Instagram* e o *YouTube*, sendo que destas a primeira é a preferida das alunas. Os estudantes que referiram a plataforma *Discord* foram exclusivamente rapazes e usam-na sobretudo para comunicar enquanto jogam *online* (cf. Gráfico 5.4).

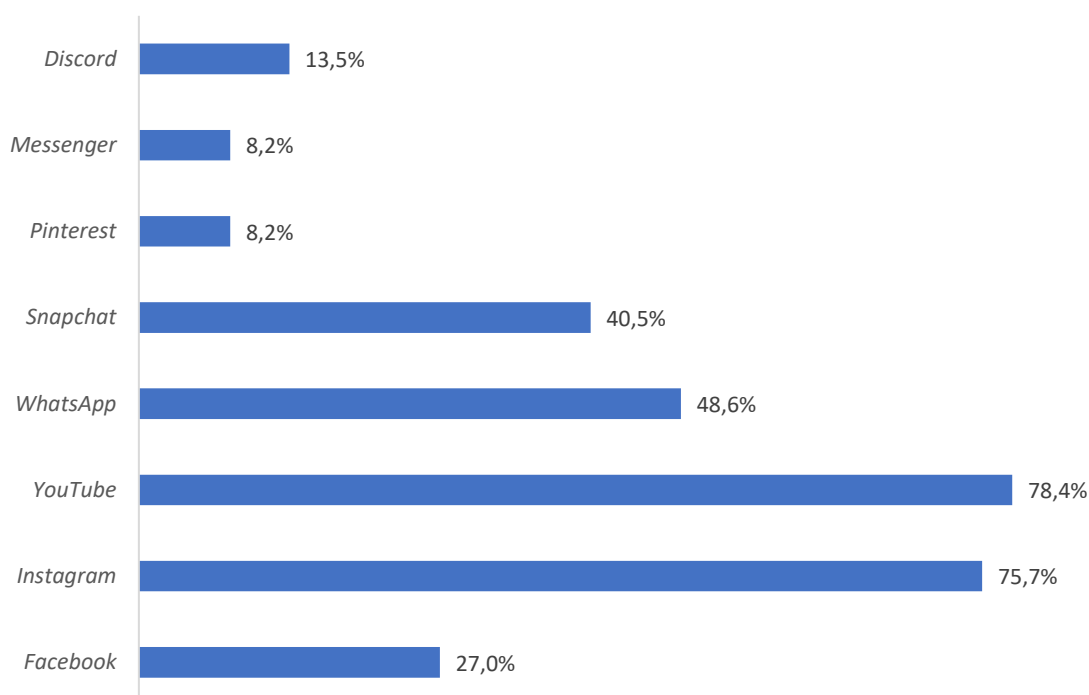


Gráfico 5.4 Redes sociais utilizadas pelos alunos

Quando questionados sobre a utilização que dão ao *smartphone* na escola, os alunos responderam que o usam para fazer chamadas, para enviar mensagens, jogar, aceder a redes sociais, tirar fotografias, gravar vídeos, ouvir música, consultar matérias das aulas e ainda para registar notas ou apontamentos (cf. Gráfico 5.5).

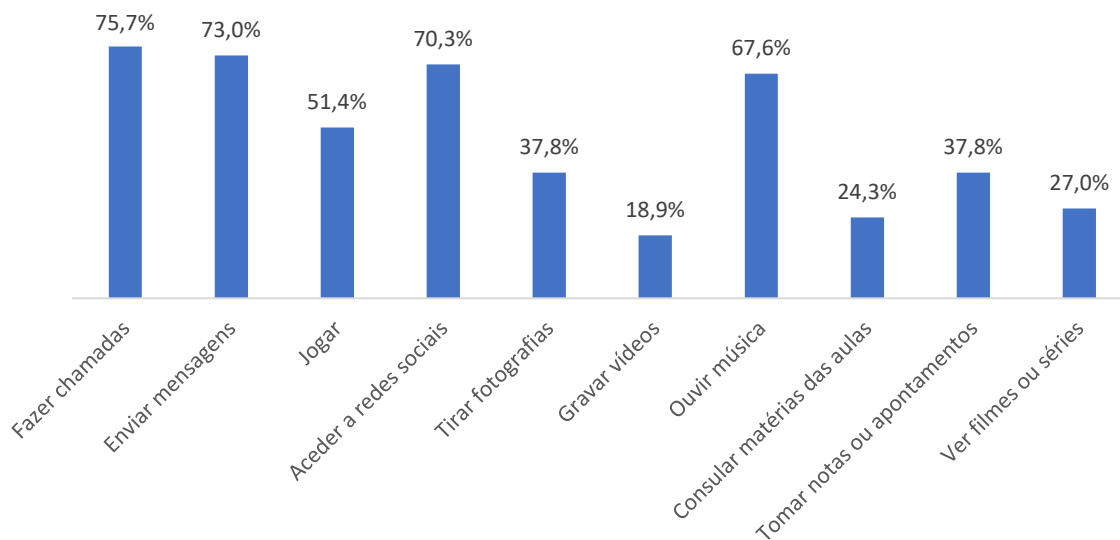


Gráfico 5.5 Tipo de utilização que os alunos dão ao *smartphone* na escola

Relativamente à utilização do telemóvel dentro da sala de aula, apenas dois alunos referiram que nunca o usaram. No contexto de todas as disciplinas, cerca de 43,0% dos alunos reconheceram que já utilizaram o telemóvel dentro da sala de aula sem autorização do professor. Questionados sobre as circunstâncias em que utilizaram o telemóvel na sala de aula com a autorização do professor os alunos referiram que o fizeram para assuntos relacionados com a matéria das disciplinas, 89,0%, aproximadamente, e para assuntos não relacionados com as disciplinas, cerca de 10,0%.

A totalidade dos alunos reconheceu que a utilização de tecnologias digitais, no contexto da sala de aula, melhora o seu interesse e aumenta a motivação para aprender as matérias das diversas disciplinas. Quando questionados sobre quais as tecnologias, usadas pelos seus professores na sala de aula, que consideram mais interessantes, 54,0% dos alunos referiam a combinação do computador/Projektor/Quadro Interativo, 32,4% apontaram o Telemóvel/*Smartphone* e 13,5% reconhecem que gostam das aulas quando os professores utilizam o *Kahoot* ou o *Plickers*.

A generalidade dos alunos participantes neste estudo reconheceu que o seu interesse nas matérias das aulas é maior e a sua motivação aumenta quando os professores permitem a utilização de tecnologias digitais nas aulas. Nos questionários foram recolhidas as seguintes justificações: “dá mais liberdade de pesquisa aos alunos sobre a matéria”; “porque às vezes

tenho dúvidas em alguma questão e se vir que o professor está ocupado utilizo o telemóvel com a autorização do professor”; “porque estamos habituados a tecnologias e é uma coisa com que gostamos de trabalhar”; “porque estamos a lidar com essas tecnologias diariamente”; “porque são aulas mais interativas”; “dá mais intensidade à aula”; “pois eu sei utilizar melhor as tecnologias e cansa menos”; “percebemos com mais facilidade”.

Mais de metade dos alunos questionados (59,5%) nunca tinham ouvido falar em tecnologia de RA. Contudo, apenas seis alunos a associaram ao jogo *Pokémon Go* e cinco alunos referiam que haviam tomado contacto no contexto do cinema e jogos digitais.

5.6 Técnicas e instrumentos de recolha de dados

O principal objetivo deste estudo foi indagar sobre as potencialidades da utilização da tecnologia de RA como contributo para o desenvolvimento da capacidade de visualização espacial dos alunos do 3º ciclo do ensino básico e contribuir para a compreensão dos conceitos inerentes ao estudo da geometria. As técnicas de investigação “são conjuntos de procedimentos bem definidos e transmissíveis, destinados a produzir certos resultados na recolha e tratamento da informação requerida pela atividade de pesquisa” (Almeida & Pinto, 1975, p. 78), podendo ser diretas/interativas ou indiretas/não-interativas (Aires, 2011). No âmbito do presente estudo, a recolha de dados teve por base a observação direta, a avaliação dos trabalhos e grupos focais com os estudantes realizados ao longo do desenvolvimento do projeto, nomeadamente aquando da conclusão de determinadas tarefas ou fases, bem como um questionário inicial e final. Nesta secção descrevemos, de forma sumária, as técnicas utilizadas para recolha de dados no âmbito desta investigação.

5.6.1 Inquérito por questionário inicial e final através do Mentimeter

O inquérito por questionário constitui uma técnica que permite obter um grande número de dados num curto espaço de tempo, possibilitando a recolha de informações específicas que se consideram importantes para um determinado estudo. Trata-se de uma técnica que

apresenta um conjunto de vantagens, nomeadamente as implicações em termos de economia de tempo e obtenção de um grande número de dados, recolha junto de um grande número de pessoas, obtenção de respostas mais rápidas e precisas, maior liberdade nas respostas e mais segurança devido ao anonimato, mais tempo para responder e em tempo oportuno (Gil, 2008; Marconi & Lakatos, 2003). No caso do nosso estudo, realizámos um questionário inicial cujo objetivo foi caracterizar os participantes e conhecer a utilização que fazem das tecnologias e em que contexto ocorrem para melhor poder contextualizar o nosso estudo. Os alunos receberam um link para acederem ao questionário no *Google Forms*. Optámos por esta aplicação porque todos os alunos possuíam endereço de e-mail com o mesmo domínio atribuído pela escola. O questionário inicial incluía 25 perguntas sendo 19 de escolha entre alternativas e seis de resposta livre. O questionário foi respondido em contexto escolar, na sala de informática, para acautelar que a recolha de dados correspondesse aos destinatários pretendidos.

Para além deste questionário inicial, foi ainda aplicado um questionário final para aferir do grau de satisfação dos alunos em relação à sua participação no itinerário formativo, desta vez através da plataforma *Mentimeter*, já que foi aplicado em articulação com a última realização do grupo focal. Este questionário incluía 17 perguntas que versam as atividades desenvolvidas ao longo do itinerário formativo, sendo 11 de escolha entre alternativas e 6 de resposta livre. Ambos os inquéritos foram submetidos na plataforma de Monitorização de Inquéritos em Meio Escolar¹²⁵, tendo sido autorizada a sua aplicação com o nº 0649800001, com a designação Anamorfoses e Realidade Aumentada (RA) na Educação Artística, registado em 13-11-2018.

5.6.2 Observação com registo diário

A técnica de observação foi também utilizada no nosso estudo em virtude da sua natureza e enfoque. Trata-se de uma técnica que busca a compreensão do processo de ensino e de aprendizagem em contexto de sala de aula, o que se afigurou como fundamental no

¹²⁵ Monitorização de Inquéritos em Meio Escolar em <http://mime.dgeec.mec.pt/>

desenvolvimento do itinerário formativo no âmbito deste projeto. Como refere Pacheco (1990, p. 42), “a acção do professor só será completamente analisada e compreendida se for diretamente observada”. Também Estrela (1994, p. 19) assume que o “fenómeno pedagógico só poderá ser apreendido através de uma observação rigorosa e exaustiva, gradativamente mais complexa nos meios utilizados e mais fina nos resultados obtidos”. Dado que numa investigação desta natureza, assumindo um carácter eminentemente contextual, dinâmico e interativo, a técnica da observação revelou-se fundamental para captar o processo de ensino e de aprendizagem, reconhecendo que o investigador é, neste caso, o “instrumento-chave da recolha de dados” (Tuckman, 2005, p. 505). Assim, a observação foi realizada ao longo das aulas de implementação do itinerário formativo, através de notas escritas, de pequenos relatos descritivos e de registos fotográficos das atividades desenvolvidas bem como dos trabalhos dos alunos.

5.6.3 Grupo focal

O grupo focal constitui uma técnica de recolha de dados que tem popularizado nas ciências sociais e sobretudo na educação cujo principal objetivo é captar as perceções do grupo sobre uma determinada área num ambiente favorável a discussões (Krueger & Casey, 2015). Assim, baseia-se na produção de discursos orais de determinado grupo social, permitindo uma representação em que se reflete a dinâmica de uma realidade (Aires, 2011, p. 38), porque se incide num tema específico, explorando-o em profundidade.

O grupo focal é uma técnica de recolha de dados em que os participantes são confrontados com um conjunto de questões num ambiente propício a exprimirem a sua opinião no sentido de auscultar e compreender o que as pessoas realmente sentem e pensam (Krueger & Casey, 2009). Por outras palavras, o grupo focal pode ser descrito como um grupo de pessoas que se reúne para debater um determinado tema com propósitos, dimensão, composição e procedimentos específicos, tornando-se útil para obter informação útil para a compreensão, discussão ou resolução de um fenómeno ou problema (Krueger & Casey, 2009). No caso do estudo descrito neste texto, os guiões dos grupos focais assumiram uma natureza flexível e dinâmica respeitando os princípios propostos por

Krueger & Casey (2009), nomeadamente clareza das questões, ambiente propício a respostas espontâneas e verdadeiras e adequação da linguagem aos participantes e ao contexto. Trata-se de uma técnica que se distingue de outras, nomeadamente da entrevista, uma vez que os vários participantes estão num mesmo local, dando-se ênfase ao questionamento em torno de um determinado tema ou tópico, à interação do grupo e à construção conjunta do significado. O grupo focal implica uma recolha mais rápida de informação, a mais baixo custo, a interação direta, a flexibilidade e adequação ao contexto. No âmbito deste estudo, as questões incluídas no grupo focal centraram-se nas reações dos estudantes às tarefas e aos resultados obtidos, mas também ao próprio processo de aprendizagem e ao seu nível de envolvimento ao longo do projeto.

5.7 Procedimentos e técnicas de análise de dados

Os dados foram recolhidos através dos questionários, da observação direta e das questões abertas colocadas aos alunos. Procuramos descrever as reações dos alunos em relação às várias fases do desenvolvimento da experiência através de questões orais - grupo focal - realizado ao longo do desenvolvimento do projeto. O objetivo era verificar como os alunos experienciaram este percurso e como reagiram ao longo das várias fases do seu desenvolvimento, dando voz e a vez aos alunos para que pudessem exprimir, nas suas palavras, a experiência e os resultados obtidos. Recorremos à técnica de análise de conteúdo dado tratar-se de “um conjunto de técnicas de análise das comunicações que utiliza procedimentos sistemáticos e objetivos de descrição dos conteúdos das mensagens.” (Bardin, 1997, p. 40).

Os dados qualitativos foram objeto de uma análise de conteúdo, tendo-se optado por uma categorização emergente, com base no critério semântico, permitindo “fazer inferências por identificação sistemática e objetiva das características específicas de uma mensagem” (Esteves, 2006, p. 108). Procedeu-se a uma categorização emergente em que “o sistema de categorias não é fornecido, resultando antes da classificação analógica e progressiva dos elementos. [...]. O título conceptual da cada categoria somente é definido no final da operação” (Bardin, 1997, p. 147). Assim, o sentido dos dados foi sendo sistematizado em

categorias decorrentes das falas dos alunos utilizando-se o critério semântico de acordo com o carácter aberto e flexível deste processo indutivo (Esteves, 2006). A análise de conteúdo permite ao investigador manter uma maior distância em relação a interpretações espontâneas, a partir de “critérios que incidem mais sobre a organização interna do discurso do que sobre o seu conteúdo explícito.” (Quivy & Campenhoudt, 1992, p. 228). Considerando o carácter emergente e dinâmico dos dados, optámos sobretudo por uma abordagem indutiva, tendo-se realizado uma leitura integral para depois identificar as categorias mais adequadas para a análise da informação recolhida. As categorias selecionadas partiram de uma leitura flutuante e foram sendo reconstruídas no decorrer do processo de análise. Os dados quantitativos foram objeto de análise estatísticas descritiva, nomeadamente frequências e percentagens.

5.8 Questões de natureza ética

Em qualquer processo de investigação, é fundamental assegurar as questões de natureza ética ao longo das suas várias fases de desenvolvimento (Bryman, 2012), desde a seleção dos participantes até às técnicas de recolha de dados e à forma de acesso ao contexto da investigação bem como à análise dos dados e publicação dos resultados (Lima & Pacheco, 2006).

Este projeto seguiu as normas da ética de investigação em educação, aceites internacionalmente. Ao longo de todo o processo de investigação foi assegurado o respeito pelas boas práticas no campo da investigação científica a nível internacional, respeitando os princípios éticos de investigação e assegurando a qualidade do processo investigativo, garantindo a confidencialidade dos dados, o consentimento informado, a adesão voluntária dos participantes e a garantia da utilização dos dados recolhidos apenas para fins de investigação. Foi distribuído um documento escrito aos alunos e aos respetivos encarregados de educação onde se descrevia o propósito e o âmbito da investigação. O consentimento informado foi obtido junto de todos os participantes, tendo sido autorizado o direito ao uso da imagem no âmbito das atividades realizadas nesta investigação, usados

apenas para fins investigativos. Na apresentação dos dados são utilizados nomes fictícios para salvaguardar o anonimato dos intervenientes.

Capítulo 6 – DESENVOLVIMENTO DO ITINERÁRIO FORMATIVO PARA O ESTUDO DA PERSPETIVA

6.1 Descrição da implementação do itinerário formativo

6.1.1 Projeções ortogonais e Realidade Aumentada

Tripla projeção ortogonal

Para introduzir a temática das projeções ortogonais foi distribuído aos alunos um cartão com a proposta de seguir o *QR code* (Figura 6.1) que solicitava a instalação da aplicação *Augment* e permitia explorar livremente a imagem da tripla projeção ortogonal. A aplicação permitia orbitar a figura e visualizar todo o objeto ao longo dos 360°. Seguidamente, foi solicitado aos alunos que descrevessem o que observavam procurando estabelecer um paralelo entre o objeto propriamente dito e as imagens representadas fora do objeto.



Figura 6.1 Visualização de objeto em tripla projeção ortogonal

Rapidamente os alunos concluíram que se tratava das imagens do objeto quando observado de determinado ângulo. Algumas descrições, as mais significativas, foram escritas no quadro branco e, após alguma reflexão, propusemos aos alunos sistematizar as

descrições por eles elaboradas. Alguns alunos descreveram a experiência do seguinte modo:

“Eu vejo a sombra desta figura” (Daniel)

“Parece que a figura foi achatada” (José)

Seguindo o Manual de Educação Visual, analisaram-se as noções de projeção ortogonal simples de um ponto que é a base da representação técnica (rigorosa) de figuras num plano de projeção (folha de papel). A projeção ortogonal simples consiste em passar pelos diversos pontos que definem uma figura retas projetantes perpendiculares ao plano de projeção (cf. Figura 6.2). A interseção destas retas com o plano define as projeções dos pontos. De facto, como sugeriu o aluno Daniel, a projeção de um ponto é como a sombra que se obtém num plano resultado da passagem de um raio luminoso por esse ponto. Deste modo, foram abordadas as definições de plano de projeção, reta projetante de um ponto e projeção ortogonal.

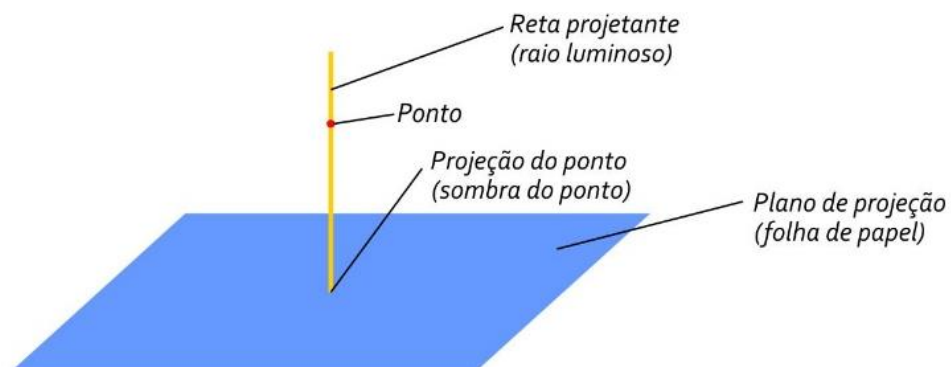


Figura 6.2 Projeção de um ponto num plano

Clarificada também a distinção entre projeção central ou cónica e projeção paralela ou cilíndrica, introduzimos o contributo de Gaspard Monge para o sistema de dupla projeção ortogonal (ou método de Monge) (cf. Figura 6.3).

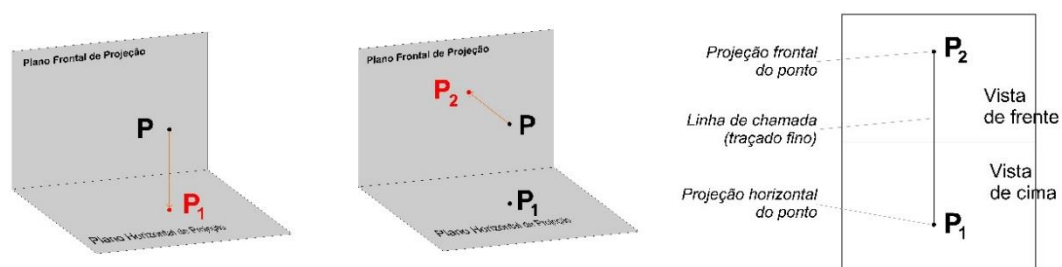


Figura 6.3 Dupla projeção ortogonal

Rapidamente os alunos representaram, sem dificuldade, numa folha de papel A3 a dupla projeção ortogonal de um cubo, de um paralelepípedo e de uma pirâmide quadrangular.

De seguida, os alunos foram convidados a representar as vistas de cima e de frente do objeto na Figura 6.3, fornecida através de cartões, que, de igual modo, poderia ser consultada seguindo o *QR code* apresentado no cartão (Figura 6.4).



Figura 6.4 Peça dois para representação em dupla projeção ortogonal

Os estudantes carregaram a imagem 3D nos respetivos *smartphones* e começaram a questionar qual das faces deveriam representar como vista de cima e vista de frente. Após uma análise mais detalhada desta peça, chegou-se à conclusão de que seria conveniente representar mais que duas faces. Gerou-se, então, a oportunidade para introduzir a tripla projeção ortogonal. Quando as projeções de um objeto nos planos frontal e horizontal são

insuficientes para a compreensão total da forma e das dimensões do objeto é necessário recorrer a um terceiro plano de projeção perpendicular aos dois já conhecidos (plano lateral ou plano de perfil (PP) (cf. Figura 6.5).

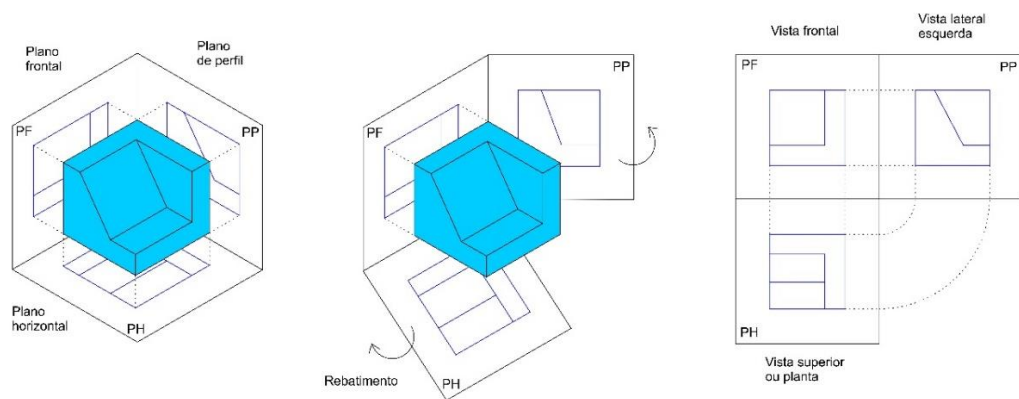


Figura 6.5 Tripla projeção ortogonal

Com este terceiro plano, os alunos sentiram-se mais confiantes para representar a peça sugerida. Neste processo foi importante a partilha entre pares uma vez que todos os alunos realizaram o mesmo exercício. A utilização desta aplicação de RA revelou-se verdadeiramente importante na medida em que permitiu que todos os alunos pudessem visualizar, digitalmente, o mesmo objeto tridimensional, com a possibilidade de orbitar o objeto em todas as suas dimensões.

Desenho de modelos 3D digital

Terminada esta tarefa os alunos foram desafiados a criarem a sua própria peça. Para isso, foi apresentado aos alunos o software *SketchUp* para criação de modelos 3D no computador. Por ser muito intuitivo os alunos aprenderam, rapidamente, as funções básicas para construírem diferentes formas e volumes.

Esta ferramenta revelou-se de extrema importância, não só do ponto de vista motivacional dos alunos, mas também como suporte ao processo criativo. Terminada esta fase, as peças criadas pelos alunos foram exportadas em formato COLLADA (.dae) para *upload* na plataforma *Augment* que tem uma licença especial para educação (cf. Figura 6.6).

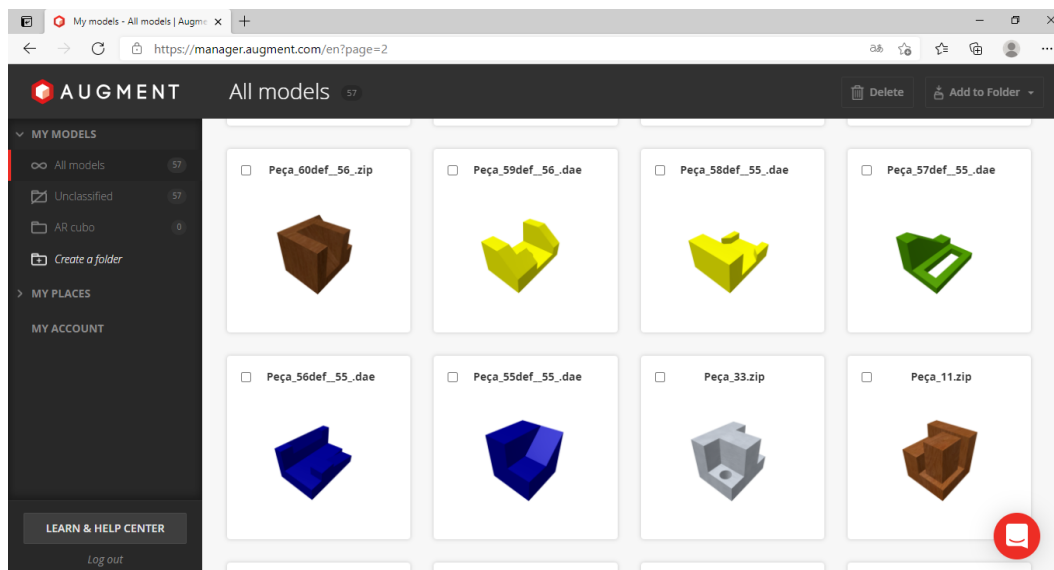


Figura 6.6 Algumas das peças criadas pelos alunos

Quando decorreu a implementação deste projeto de investigação a plataforma *Augment* permitia visualizar os objetos através de marcadores. Os alunos puderam não só visualizar as próprias peças como partilhar com os seus colegas.

Modelos digitais 3D e Realidade Aumentada

Aquilo que estava limitado a número muito reduzido de modelos para representação das vistas ortogonais tinha sido, agora, alargado de uma forma significativa a múltiplas possibilidades. Esta atividade revelou-se de enorme valor pedagógico, na medida em que foram os próprios alunos que criaram os materiais didáticos para que pudessem exercitar esta matéria curricular. De salientar que, nesta fase, o trabalho de pares foi muito profícuo uma vez que, quando surgiam dúvidas, os alunos consultavam em primeiro lugar o colega que construiu a peça que estavam a representar. Como sugerem Figueiredo et al. (2016), a integração de tecnologias de média digital e dispositivos móveis permitem que os alunos possam estabelecer objetivos pessoais e gerir conteúdos educacionais com benefícios evidentes na regulação das próprias aprendizagens. De facto, esta foi uma atividade inovadora na medida em que os alunos foram coautores do próprio currículo. Esta atividade não só melhorou a motivação dos alunos, como foi também importante para melhorar a autoestima e autorregulação das aprendizagens dos alunos (cf. Figura 6.7).



Figura 6.7 Visualização das peças criadas pelos alunos

Como tarefa complementar, os alunos puderam também imprimir algumas das suas peças através de uma impressora 3D.

Impressão 3D de peças para desenho técnico

Em virtude do tempo necessário para impressão 3D, a maior parte das impressões foram realizadas fora do tempo letivo das aulas de Educação Visual.



Figura 6.8 Impressão 3D das peças criadas pelos alunos

A impressão 3D das peças criadas pelos alunos encerrou todo o ciclo de criação artística desde a concepção, planeamento e implementação prática do objeto artístico em contexto educativo (cf. Figuras 6.8 e 6.9).



Figura 6.9 Trabalhos dos alunos em tripla projeção ortogonal

Realidade Mista na representação técnica dos objetos

No entanto, os alunos puderam visualizar ainda o produto final do seu trabalho através da aplicação de realidade aumentada *Augment*, combinando o desenho das vistas ortogonais desenhadas à mão pelos alunos e o modelo virtual usado que lhe serviu de base, numa experiência de RM (cf. Figura 6.10).

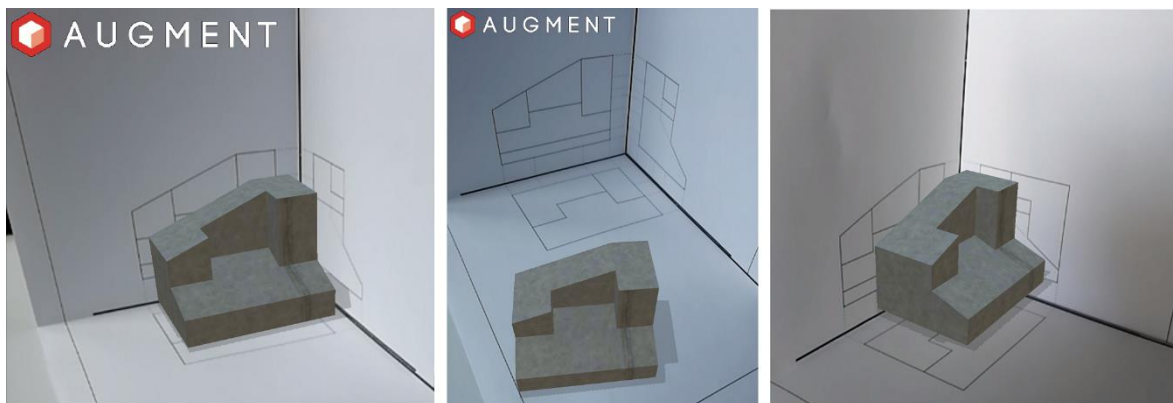


Figura 6.10 Realidade mista - vistas ortogonais e modelo virtual

De igual modo, os alunos puderam confrontar o desenho das vistas ortogonais com o modelo impresso através de impressora 3D (cf. Figura 6.11). Inicialmente, o desenho das vistas ortogonais serviu como marcador personalizado para ativar os objetos em RA. Contudo, porque se tratava de um processo mais demorado, posteriormente, optou-se

pela impressão de *QR codes*. Desta forma, ficou provado que os *smartphones* e *tablets* combinados com aplicações de RA encerram novas possibilidades de abordagem ao estudo das projeções ortogonais no contexto da disciplina de Educação Visual no 3º ciclo de escolaridade do ensino básico.

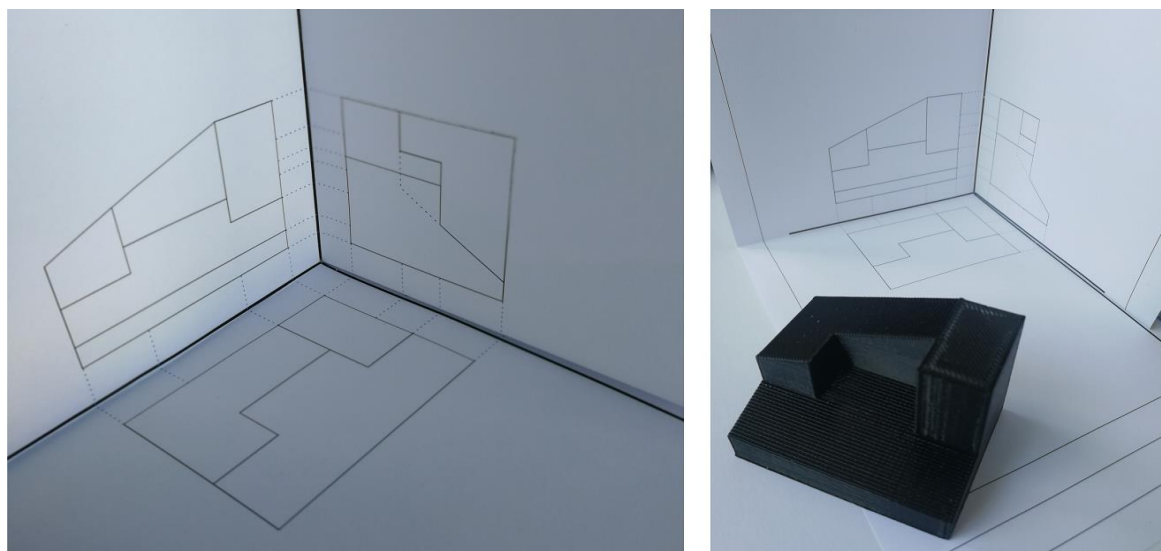


Figura 6.11 Vistas ortogonais e modelo impresso em 3D.

Nesta experiência de aprendizagem adotámos uma visão de currículo como projeto aberto e flexível, integrando formas criativas de ensinar, aprender e avaliar, ou como sugere Pérez Gómez (2012), um currículo emergente, baseado em problemas ou em situações, entendido não como lista de conteúdos, mas como itinerário de experiências transformadoras, ancoradas no projeto pessoal e social de cada aluno.

De facto, a velhinha caixa de sólidos em madeira pode deixar de ser suficientemente estimulante para todos os alunos nesta era digital que nos apresenta novas e diversificadas possibilidades de abordagem do currículo escolar. Esta visão do currículo implica passar de uma perspetiva profissional definida pela capacidade de transmitir conhecimentos e avaliar resultados para uma perspetiva do professor capaz de diagnosticar situações, de desenhar atividades, experiências e projetos de aprendizagem, de configurar e desenhar contextos de aprendizagem, avaliar processos e realizar tutorias, orientar, cuidar e acompanhar o desenvolvimento completo dos indivíduos e dos grupos (Pérez Gómez, 2012, p. 39).

Como salienta Eisner (1979), a análise da prática por parte do professor permite a exploração de oportunidades que dela emergem e resulta de um processo construtivo, irrepetível, no qual a interatividade e a ação poderão conduzir a novas possibilidades educativas. Nesta perspetiva, o currículo, ao invés de ser um produto ou um resultado, é proposto como um conjunto de princípios de procedimento para o professor, pois não se trata de algo acabado, mas em permanente construção (Stenhouse, 1987), ou seja, o currículo é entendido como uma proposta ou hipótese de trabalho que deve ser investigado e comprovado na prática.

Os resultados desta experiência revelaram que a utilização de aplicações de RA na abordagem ao estudo das projeções ortogonais melhorou significativamente o processo de ensino-aprendizagem, na medida em que possibilitou a criação de cenários de aprendizagem enriquecidos com informações digitais complementares e visualizadas a partir de um dispositivo móvel.

Os benefícios ao nível da motivação e empenho dos alunos foi significativa, na medida em que os alunos não se limitaram a realizar um exercício de projeções ortogonais, mas quiseram realizar os modelos produzidos pelos outros colegas. Permitiu, também, implementar estratégias de diferenciação pedagógica ao promover a participação e a melhoria das aprendizagens considerando os diversos ritmos de aprendizagem dos alunos. Podemos inferir, ainda, desta experiência, que o uso da tecnologia de RA contribuiu para melhorar a capacidade de visualização espacial e abstração por parte dos alunos.

6.1.2 Construção da anamorfose de um cubo

As experiências aqui descritas seguiram-se a uma exploração e análise da imagem do “desenhador e o alaúde” de *Albrecht Dürer* (1525) projetada no quadro branco através de videoprojector.

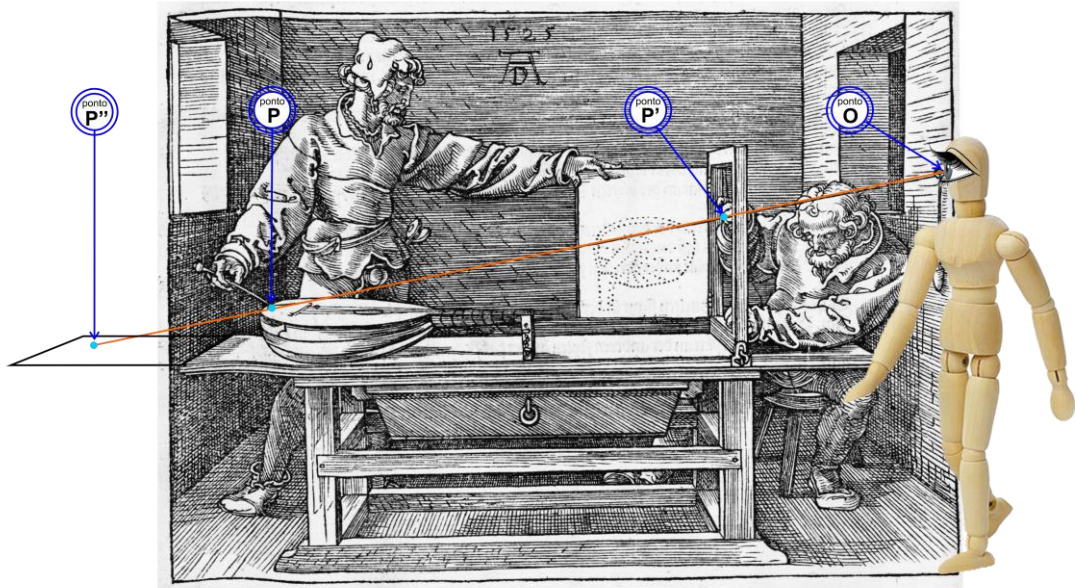


Figura 6.12 O desenhador e o alaúde de Dürer (1525) adaptada

Para a contextualização histórica da imagem os alunos procuraram na internet, através de telemóvel e/ou *tablet*, dados sobre Albrecht Dürer. Seguidamente, os alunos analisaram a imagem através da interpretação do conteúdo em diferentes dimensões, seguindo a pedagogia da educação do olhar proposto pelo Programa Integrado de Artes Visuais¹²⁶, inspirada no modelo *Discipline-Based Art Education* (DBAE) advogado pelo *Getty Education Institute for the Arts*.

Assumindo o fenómeno da oclusão radial, a máquina de perspetiva de Dürer permite demonstrar que os pontos P, P' e P'' são anamorficamente equivalentes a partir do olho do observador, portanto, devem ser indistinguíveis para um observador colocado em O. Este

¹²⁶ Esta publicação apresenta o resultado da difusão ampla do “Primeiro Olhar – Programa Integrado de artes Visuais”, desenvolvido no âmbito da Unidade de Investigação Educação e Desenvolvimento (Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa), na sequência do protocolo de cooperação estabelecido entre este centro de investigação e a Fundação Calouste Gulbenkian.

facto admite agilizar este dispositivo num movimento para frente e para trás, permitindo obter uma “perspetiva” no plano vertical e/ou uma “anamorfose oblíqua” no plano horizontal (Araújo, 2020a).

Após a análise da imagem de Albrecht Dürer, foi distribuída aos alunos a ficha da atividade a realizar que compreendia uma representação de um cubo e a sua projeção anamórfica num plano horizontal. Com esta atividade pretendia-se que todos os alunos identificassem com clareza o ponto do observador, fundamental para gerar a anamorfose. Igualmente importante era descrever todos os procedimentos necessários e para projetar convenientemente os principais pontos do cubo no chão. Nesta fase, os estudantes elaboraram uma planificação do trabalho a desenvolver que incluía a constituição de grupos de trabalho e a distribuição de tarefas a realizar na construção da anamorfose em espaço amplo (hall da escola) (cf. Figura 6.13).

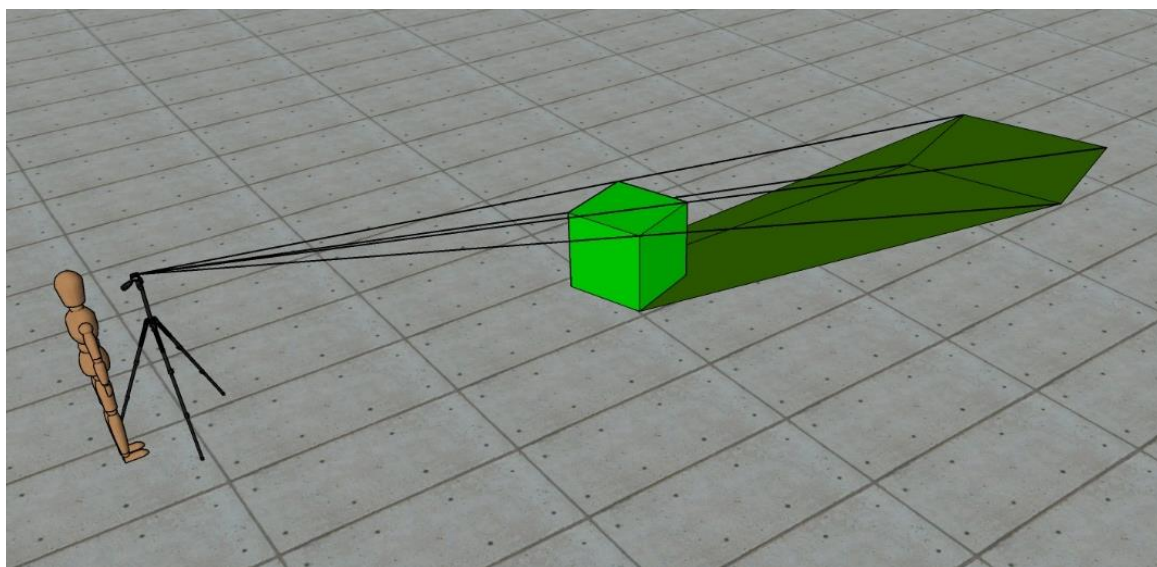


Figura 6.13 Imagem apresentada aos alunos, elaborada em *SketchUp*

Os alunos foram convidados a imitar os mesmos procedimentos para desenhar de forma intuitiva a anamorfose de um cubo. Assim, a partir de um ponto fixo numa barra de madeira, os alunos foram projetando, com auxílio de um fio de corda, cada vértice do cubo

numa folha de papel sobre o plano horizontal. Este trabalho foi realizado em grupos de quatro alunos.

Construção de uma anamorfose do cubo em espaço amplo

Para a construção da anamorfose de grandes dimensões utilizou-se um tripé de máquina fotográfica para definir o ponto de observação, fundamental para gerar a anamorfose. Uma caixa de cartão que representava o cubo foi posicionada em lugar conveniente para que das linhas de projeção resultasse uma anamorfose convincente. Os raios de projeção assinalados com um fio de corda de algodão foram projetados no chão e marcados com fita adesiva vinílica. Todos os alunos tiveram intervenção na construção desta anamorfose, participando de forma rotativa (cf. Figura 6.14).



Figura 6.14 Construção da anamorfose em espaço amplo

A importância da projeção ponto a ponto revelou-se crucial para que os alunos interiorizassem o princípio da oclusão radial, que, segundo a definição de Araújo (2020a), pressupõe que dois pontos espaciais são considerados iguais (ou opticamente indistinguíveis) se e somente se eles estiverem no mesmo raio do olho.

Terminada a construção da anamorfose foi realizada com os alunos uma avaliação do processo e identificados os principais obstáculos e/ou dificuldades na execução deste trabalho. Todos os alunos revelaram grande empenho e entusiasmo na execução desta

tarefa. Foi evidente que alguns alunos revelaram mais capacidades de liderança e, por conseguinte, foram mais proactivos e sempre preocupados em distribuir tarefas aos restantes colegas.

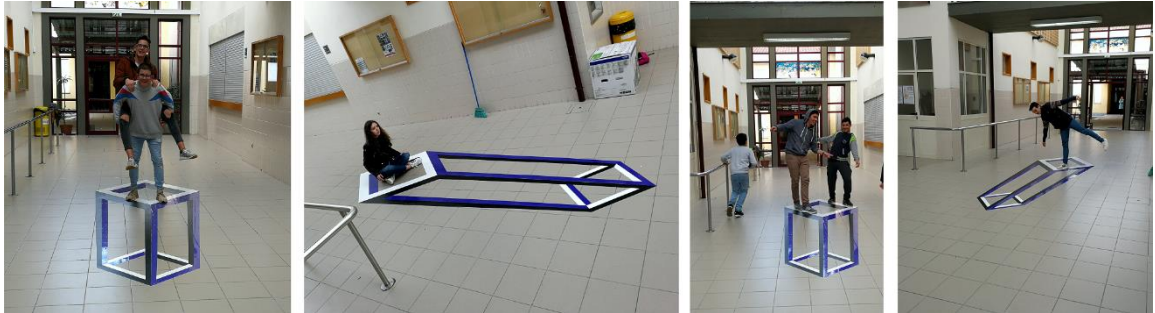


Figura 6.15 Interação com a anamorfose em espaço amplo.

Os alunos tiveram, também, tempo para realizar expressão não condicionada, aproveitando para tirar várias fotografias em interação com a anamorfose (cf. Figura 6.15). Com auxílio da aplicação *HP Reveal*, os alunos realizaram diversas experiências de RM combinando a anamorfose com animações disponíveis nesta plataforma. Usaram ainda esta anamorfose como marcador para espoletar imagens e/ou animações de RA (cf. Figura 6.16).



Figura 6.16 Anamorfose como marcador para realidade aumentada com *HP Reveal*

Com esta atividade os alunos compreenderam a importância da identificação do ponto exato do observador para a percepção correta da anamorfose que serviu ainda como

marcador para esboçar a combinação com a aplicação de realidade aumentada. Este aspeto é essencial para a aprendizagem do conceito fundamental para o estudo da perspetiva.

Com a construção desta anamorfose os alunos exploraram, de uma forma lúdica e intuitiva, os princípios da perspetiva cónica, utilizando processos físicos para contruir uma perspetiva, isto é, transformar um objeto 3D numa representação no plano do desenho.

Anamorfose como estratégia para a abordagem da projeção cónica

Posteriormente, de regresso à sala de aula, os alunos foram confrontados com uma série de imagens de trabalhos de Julian Beever, Edgar Mueller e Sérgio Odeith. Os alunos constataram que estas imagens que nos causam surpresa, pelo jogo lúdico na ótica do espectador, continuam a despertar interesse nas artes plásticas da atualidade, designadamente, na *street art* e com os *new anamorphic graffiti artworks*.

Foram distribuídos aos alunos alguns cartões com imagens de artistas de rua e de algumas das suas obras para que pudessem explorar livremente, através do *smartphone*, algumas sugestões de links configurados em *QR code*.

Estas imagens anamórficas são construídas com uma distorção particular para criar a impressão de três dimensões quando vistas de um ponto de vista pré-determinado. No entanto, para que pareçam tridimensionais têm que ser vistas através de uma câmara fotográfica ou outro dispositivo eletrónico, pois só funcionam em visão monocular.

Os alunos ficaram entusiasmados e, à medida que realizavam as suas pesquisas, por entre expressões de admiração e surpresa foram revelando alguns comentários que apontam para reações muito positivas a esta experiência de aprendizagem.

“Ah!... mas isto foi o que nós fizemos!” (João)

“Professor, então também conseguíamos fazer um desenho como este?” (Mariana)

“Essas imagens parecem magia, mas agora já sabemos o truque.” (Vasco)

Construção ortográfica de um cubo em anamorfose

Para sistematizar todas estas aprendizagens, foi proposto aos alunos que construíssem um cubo, seguindo um método rigoroso para a representação em anamorfose, utilizando a régua e o esquadro. Deste modo, procurámos abstrair uma construção ortográfica com vista lateral e vista superior de um cubo com 3,5cm. Para garantir que todos os alunos tinham sucesso na realização deste exercício, mesmo os que normalmente revelam mais dificuldades, propusemos a realização do desenho numa folha de papel de tamanho A3, indicando que o cubo se encontra a 16,5cm do ponto do observador e que o olho do observador está colocado a 8cm de altura relativamente ao chão. Deste modo, todos os alunos poderiam validar os seus progressos com a ajuda do professor e dos colegas.

Na elaboração do trabalho os alunos começaram por desenhar a linha de terra e uma linha perpendicular onde marcaram o ponto de vista do observador (distância à linha de terra e altura do olho). De seguida, desenharam a planta do cubo e projetaram todos os pontos de perfil da figura sobre a linha de terra incluindo a altura do cubo (projeção ortogonal). A interseção da linha de terra com cada uma das retas que passa desde o ponto de projeção sobre cada um dos pontos do perfil da figura indica a ordenada de projeção de cada um dos pontos anamórficos de figura. De seguida, desenharam as retas perpendiculares à linha de terra que passam pelos pontos obtidos anteriormente. Cada uma das arestas do cubo inicial tem o ponto de fuga na posição do observador. Assim, para obter a imagem anamórfica das arestas, é necessário traçar as semirretas que passam desde o ponto de vista privilegiado e por cada um dos vértices da planta do cubo. As interseções destas semirretas com as linhas perpendiculares à linha de terra correspondem à projeção de cada vértice superior do cubo inicial e indicam-nos a posição dos vértices da face superior do cubo na figura anamórfica (cf. Figura 6.17).

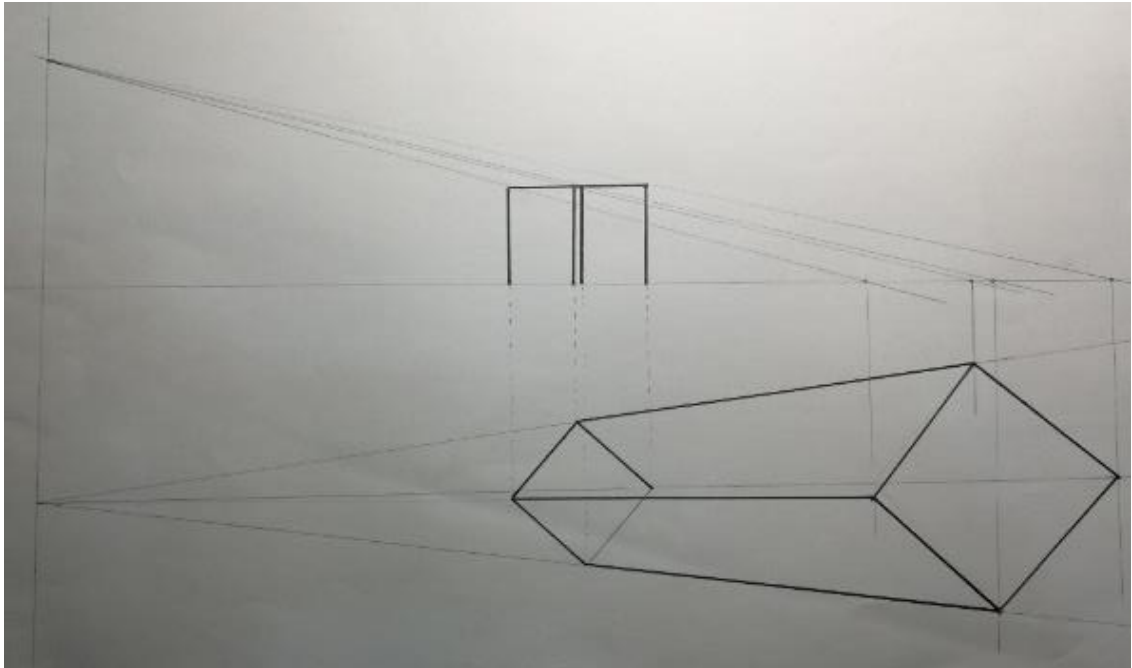


Figura 6.17 Vistas ortográficas de uma anamorfose (desenho elaborado pelo Alexandre)

Neste exercício abordamos os conceitos básicos e os procedimentos da geometria descritiva traduzidos na determinação de uma forma planificada (imagem do cubo) utilizando uma vista superior e uma vista lateral do sistema. A primeira fornece as abcissas dos pontos em perspectiva e a segunda determina as cotas desses mesmos pontos. No método de Monge a perspectiva é obtida em dois planos de projeção utilizando conceitos fundamentais e técnicas da Geometria Descritiva. A imagem é obtida sobre um plano projetante que depois é rebatido sobre o plano vertical de projeção. É por meio da Geometria Descritiva que se definem as leis da perspectiva cônica. No nosso caso, utilizamos o plano de perfil para formar a imagem que é projetada sobre a superfície do quadro. O ponto de observação é inserido no sistema de planos a uma certa distância do quadro e a uma determinada altura em relação ao plano geometral. O ponto de vista do observador corresponde ao vértice de um cone visual cujo raio é igual à distância do observador ao quadro. Aqui a planificação do sistema é composta pela visão superior associada à visão do quadro frontal sobre o qual se obtém a imagem anamórfica. Trata-se de uma abstração dos procedimentos da máquina Dürer com vistas em planta e em elevação dos fios que passam pelos vértices de um cubo. A anamorfose é realizada na vista superior e deve ser observada com a lente da máquina fotográfica (posição do olho do observador) acima de

O'' na altura de O' (de acordo com a figura 6.20 anamorfose com sombra a partir de luz artificial).

Após a conclusão deste exercício, os alunos foram convidados a colocar a lente fotográfica do *smartphone* no local exato do ponto do observador e registrar uma fotografia para constatar a visão do cubo em anamorfose. Este exercício permite ainda revisitar a natureza das relações proporcionais teorizadas por Alberti e Piero della Francesca (vide capítulo 3) nomeadamente a interseção da pirâmide visual e o tamanho do objeto projetado, isto é, o tamanho aparente do objeto na interseção corresponde às distâncias desde o olho do observador. Este exercício permite também convocar Andrea Pozzo com a técnica do desenho geométrico, da geometria descritiva propriamente dita, na medida em que introduziu o uso simultâneo de planta e elevação para dar origem a uma solução detalhada para a ornamentação arquitetónica das ordens clássicas.

Como complemento a esta atividade foi sugerido aos alunos que dobrassem a folha pela linha de terra para visualizar simultaneamente os dois planos de projeção. A Andreia (nome fictício) decidiu, por iniciativa própria, enfatizar com a cor verde os traçados auxiliares e reforçar a espessura das arestas do cubo na face superior, obtendo um resultado ainda mais convincente (cf. Figura 6.18).

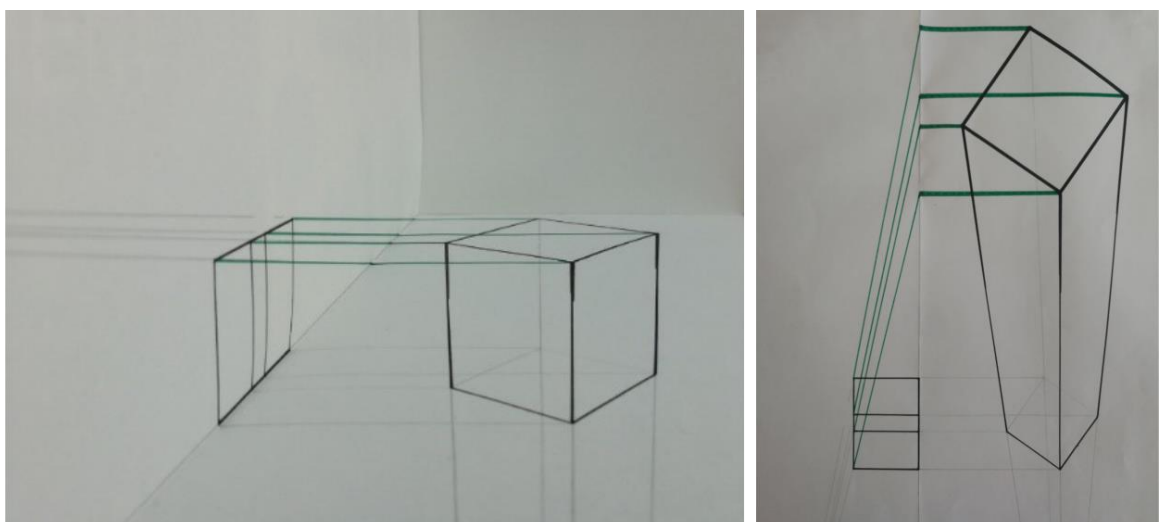


Figura 6.18 Foto tirada ao desenho a partir do ponto do observador (desenho elaborado pela Andreia)

Este exercício evidenciou a eficácia desta abordagem, pois os alunos já revelavam alguma compreensão, capacidade de interpretação e atitude crítica face aos trabalhos desenvolvidos, observáveis através do registado das atitudes demonstradas na sala de aula e, ainda, constatáveis nos comentários proferidos pelos alunos.

“Acho que foi uma experiência interessante” (Duarte)

“Este trabalho foi fantástico, foi fixe” (Rúben)

“Eu gostei muito, achei interessante e aprendi coisas novas”. (Ana)

“Eu achei interessante, foi fácil e gostei do resultado”. (Nádia)

Estas reações espelham, mais uma vez, a adesão e entusiasmo dos alunos que participaram nesta intervenção, o que nos leva a afirmar o seu contributo para o desenvolvimento das capacidades de visualização, análise e interpretação de elementos do espaço e representação através do desenho. Implicitamente, abordamos noções de coordenadas, plano vertical, plano horizontal, de linha de terra, cota e afastamento, conceitos fundamentais para o estudo da geometria descritiva.

Luz e cor na anamorfose: sombra própria e sombra projetada

De seguida, utilizando a construção realizada anteriormente os alunos deram continuidade ao trabalho de expressão criativa com a aplicação dos conhecimentos já adquiridos sobre luz e sombra. Assim, cada estudante pintou, livremente, a sua figura em anamorfose, procurando respeitar os elementos básicos de tridimensionalidade.

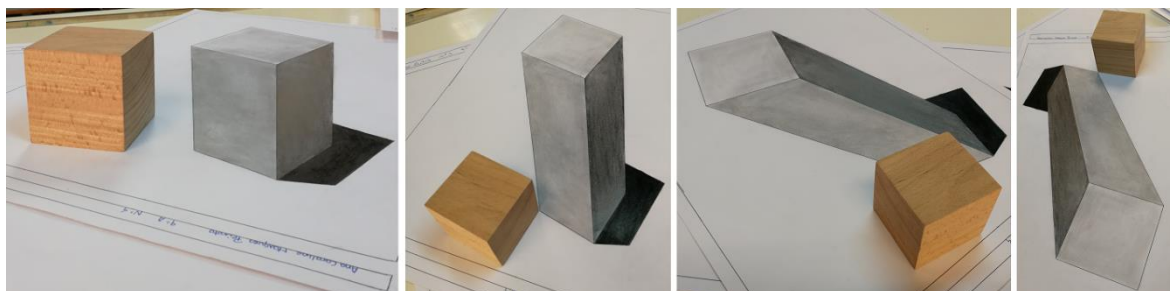


Figura 6.19 Anamorfose com cor (trabalho elaborado pela Carolina)

Neste trabalho os alunos tiveram a oportunidade de relacionar novos conhecimentos com conteúdos já estudados, designadamente, sobre a utilização das sobras na representação da tridimensionalidade, procurando, deste modo, aplicar conhecimentos em novas situações. Na determinação das sombras os alunos seguiram o método intuitivo servindo-se da luz que naturalmente se apresentava proveniente das janelas da sala de aula. Todos os alunos realizaram esta tarefa com sucesso e entusiasmo como se depreende dos comentários expressados:

“Achei esta experiência interessante e divertida”. (Vasco)

“Achei interessante, um novo ponto de vista que não conhecia”. (Lucas)

“Gostei da ideia do trabalho, o resultado final foi espetacular”. (André)

“Achei um trabalho diferente e interessante. A melhor parte foi ver o efeito final com o *smartphone*. (Nuno)

“Ficou top!... vou tirar uma foto para mostrar ao meu irmão.” (Luís)

A determinação de sombras em perspetiva desenvolve-se na interação entre o plano luminoso e a superfície de projeção. Considerando a luz solar, na perspetiva das sombras o sol é a fuga natural dos raios luminosos e pode estar em três posições em relação ao observador: O sol está na frente do observador é visível acima do horizonte (contraluz); o sol está ao lado e não é visível na perspetiva, os raios solares apresentam perspetivas paralelas (o ângulo de incidência é visto em verdadeira grandeza); o sol está atrás do observador (a perspetiva é virtual e encontra-se abaixo da linha do horizonte). Por outro lado, quando trabalhamos com luz artificial a fonte luminosa está próxima e pode ser perspetivada desde a sua posição e altura.

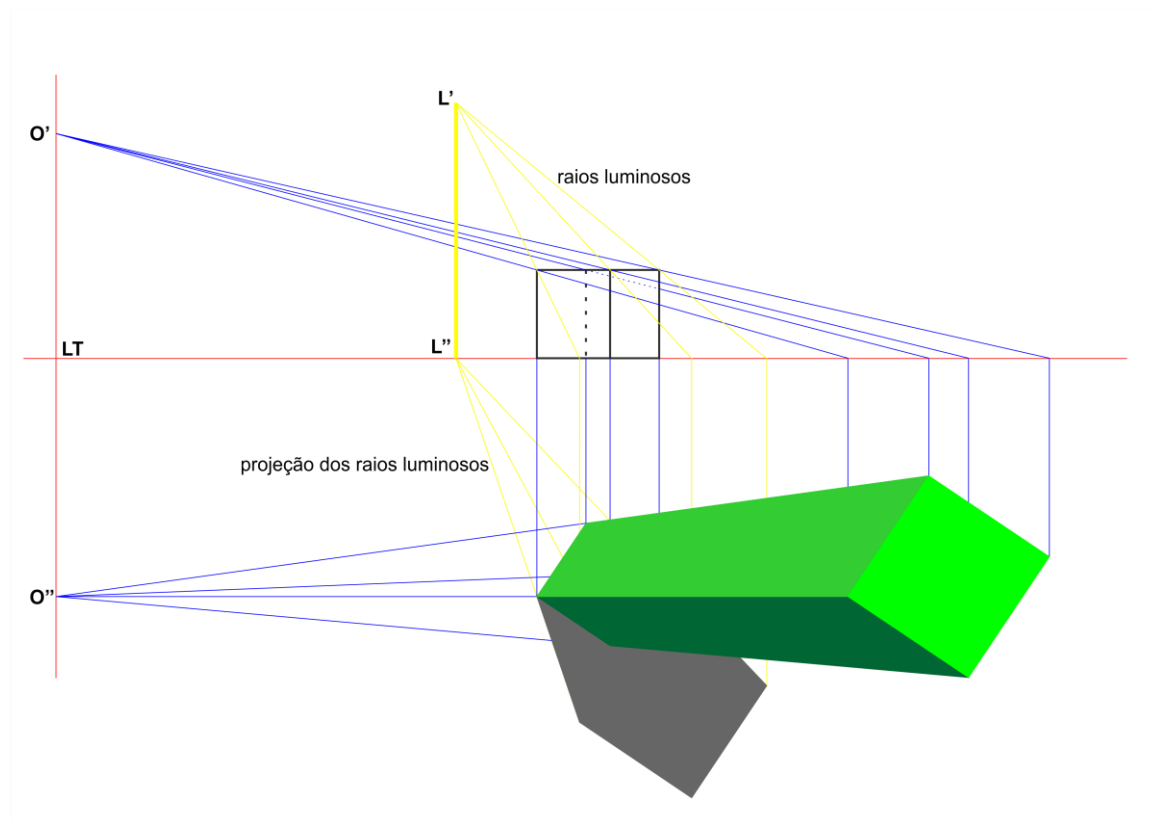


Figura 6.20 Anamorfose de um cubo com sombra a partir de luz artificial (Manuel Flores)

Na figura anterior exemplificamos um método para determinar a projeção da sombra do cubo utilizado na anamorfose considerando a luz artificial na sua fonte em L' .

Visualização 3D com realidade aumentada e anamorfose

Os alunos foram, posteriormente, convidados a utilizar as aplicações de realidade aumentada *HP Reveal* e *Augment* para fotografar um cenário de realidade mista que integrasse a RV (cubo verde fornecido através de *QR code*) um cubo real, em madeira (castanho) e desenho da anamorfose realizado por cada um dos alunos (cinza) (cf. Figura 6.21).

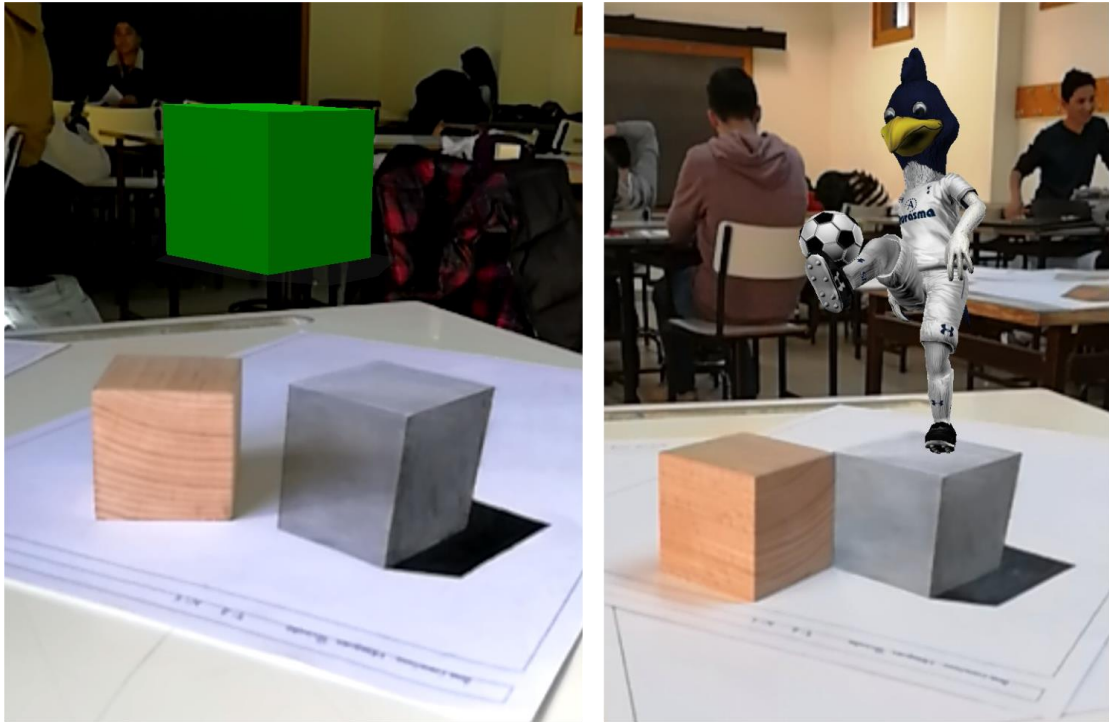


Figura 6.21 Composição de realidade mista (trabalho elaborado pela Catarina)

Nesta tarefa o *smartphone* revelou-se um recurso de extrema importância para a realização das tarefas propostas, o que foi do agrado dos alunos, como é possível verificar pelos comentários recolhidos durante a realização da experiência.

“Nunca tinha utilizado tanto o telemóvel numa aula! Foi fixe e divertido”. (Andreia)

“Afinal a realidade também nos engana!” (Rodrigo)

“O que mais gostei foi das animações.” (Miguel)

“Não sei bem qual gosto mais?...os três parecem realidade!” (Flávia)

Os alunos realizaram vários registos fotográficos explorando os efeitos da ilusão criada pela anamorfose e reconheceram mais uma vez a importância da identificação do ponto de observação do espectador (ponto principal de projeção) para a reformulação da anamorfose. Neste exercício a representação gráfica das sombras constituiu também uma oportunidade para os estudantes compreenderem melhor as noções de

tridimensionalidade, desenvolvendo a criatividade e a expressividade. A utilização das anamorfozes constituiu também uma oportunidade para a representação expressiva dos efeitos da luz e da sombra (cf. Figura 6.19; 6.21 e 6,22).

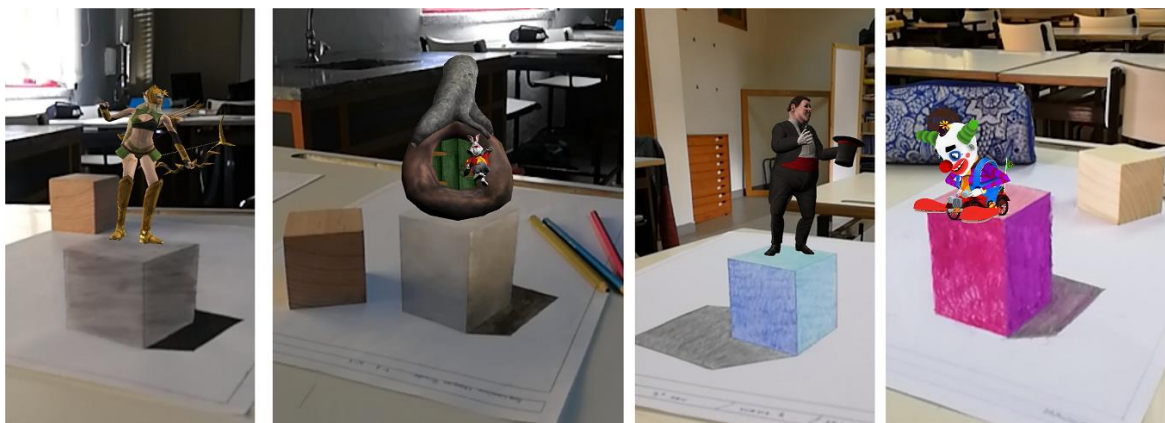


Figura 6.22 Composição de realidade mista (elaborada pelos alunos)

Com esta experiência pedagógica foi possível demonstrar que existem algumas concretizações que reforçam os efeitos tridimensionais numa determinada composição gráfica. Esses efeitos, frequentemente, designados como elementos passivos, são inerentes à aparência dos objetos e são facilmente identificados quando se observa uma imagem. O efeito da tridimensionalidade no desenho de objetos é dado precisamente pela aplicação das três dimensões com luz e sombra, produzindo relevo na imagem. Neste caso, o efeito da luz e da sombra indicam diretamente ao olho humano se um objeto está próximo ou distante de quem o observa.

Pontos de fuga de anamorfose com aplicação de Realidade Aumentada

Considerámos, então, adequado revistar a primeira anamorfose construída no hall da escola para desafiar os alunos a identificarem os pontos de fuga daquela representação (cf. Figura 6.23). Depois de alguns momentos de indagação dos alunos foi proposto que seguissem, através do *smartphone* uma ligação por *QR code* que continha uma imagem de um cubo transparente com o prolongamento das suas arestas que ajudavam a identificar os pontos de fuga na anamorfose construída no hall da escola, como

ilustra a figura que se segue. Entretanto, fomos inquietando os alunos com algumas questões desafiadoras: Imaginem-se agora no centro de uma esfera? Para onde convergem os pontos de fuga?

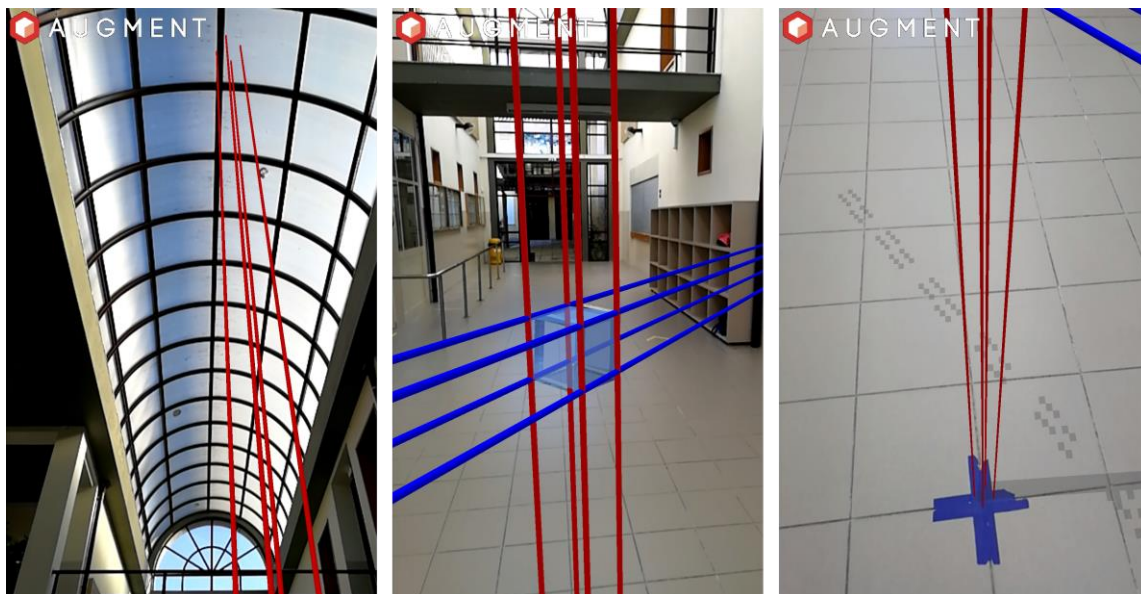


Figura 6.23 Pontos de fuga de uma anamorfose (aplicação *Augment*)

Com esta reflexão pretendíamos estimular o pensamento crítico dos alunos e apelar à sua capacidade de abstração. Considerando que esta teoria pode ser muito abstrata para jovens estudantes, arriscámos uma explicação que apelava a uma considerável capacidade de abstração geométrica e que nos remete para uma definição pelos pontos de fuga definidos em Araújo (2018a) como o fechamento topológico de projeções cónicas. É certamente exigente demais para alunos adolescentes de 15 anos (Flores et al, 2021). No entanto, para mitigar este constrangimento, adotámos a sugestão de Araújo (2017a; 2020a) assumindo uma máxima para a definição em que os pontos de fuga de uma linha “l” são os pontos obtidos pela intersecção da esfera visual com a translação de “l” para “O” (centro da esfera). Araújo (2020a) sugere que este procedimento pode ser tomado como uma definição tão compreensível quanto a definição correspondente de ponto de fuga de perspectiva linear, apresentada por Taylor (1992), no seu tratado de 1715 e de uso comum atualmente (Andersen, 1992). Procurando materializar este conceito em atividades práticas, para encontrar o ponto de fuga de uma linha sugerimos aos alunos que

estendessem os braços lateralmente à altura dos ombros e apontassem os seus dedos indicadores paralelamente a essa linha – para onde estão a apontar é o ponto de fuga. Este é, portanto, apenas um conselho prático dos textos clássicos de perspectiva (Ware, 1900) só que não dizemos “onde o dedo aponta no plano da perspectiva”, mas “na esfera imaginária ao seu redor” (Araújo, 2020a). Assim, a falta de visão limitada do plano implica imediatamente na existência de dois pontos de fuga simétricos. Deste modo, quando o aluno pergunta “ponto de fuga?... em que direção?”, a resposta conveniente será “em ambos os lados”. Talvez o resultado mais robusto dessa visão seja, precisamente, um conceito imersivo de pontos de fuga que surge naturalmente, sem referência a superfícies de projeção ou perspectiva. Dito de outro modo, na anamorfose esférica a noção de ponto de fuga atinge a sua definição mais simétrica, em que cada linha tem exatamente dois pontos de fuga diametralmente opostos na esfera visual (Araújo, 2018a; 2020a) (cf. Figura 6.24).

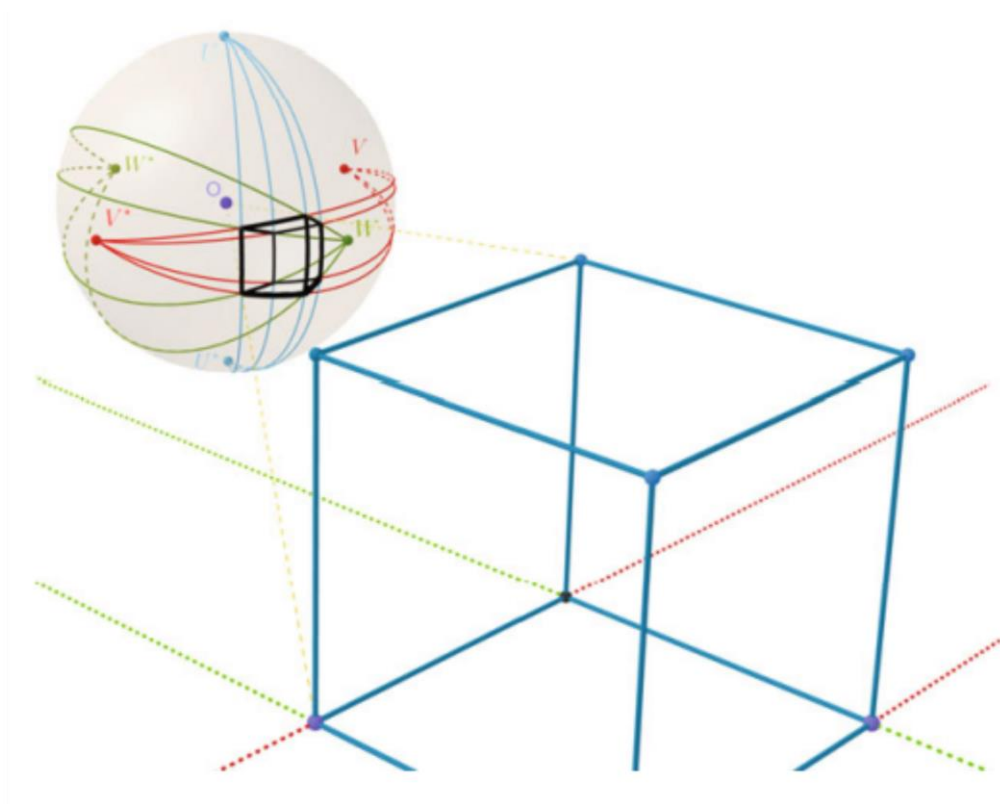


Figura 6.24 Anamorfose de um cubo na esfera (Araújo, 2020a)

Contudo, em virtude da natural dificuldade de abstração em estudantes destas idades, naquele momento, não ficou totalmente claro para nós que todos os alunos tivessem compreendido com clareza a noção de pontos de fuga aplicados a esta anamorfose. No entanto, alguns alunos repetiram por diversas vezes o exercício combinando a exploração da aplicação de RA¹²⁷, desenvolvida por nós para visualizar as linhas de fuga na figura anamórfica, e a *performance* dos braços estendidos com os dedos indicadores a apontar para os pontos de fuga. Uma das alunas referiu “*Ó professor, eu já sabia onde estavam os pontos de fuga, mas agora faz mais sentido*” (Carolina).

Anamorfose com óculos 3D anáglifos

Sabemos que os efeitos que afetam a qualidade da visão tridimensional são a forma, a perspectiva, a iluminação e a sombra, a cor, a textura e, ainda, a oclusão dos objetos, a visão estereoscópica poderá ser considerada o efeito que mais influencia a percepção tridimensional. Trata-se de um efeito ativo e está diretamente relacionado com o fenómeno da visão humana que compreende a disparidade binocular, isto é, a diferença das imagens capturadas pelos dois olhos. Nesta ordem de ideias pareceu-nos oportuno integrar neste itinerário uma experiência pedagógica incluindo os óculos anáglifos já que são uma tecnologia simples e acessível que encerra enormes potencialidades educativas.

Assim, retomando o trabalho realizado pelos alunos sobre as projeções ortográficas do cubo em anamorfose passámos para outra experiência de visualização 3D quase imersiva. Designamos esta experiência de quase imersiva, na medida em que o utilizador através dos movimentos da cabeça (para a frente e para trás, para a direita e para a esquerda, para cima e para baixo) interage com o resultado da forma do objeto visualizado, mantendo, no entanto, a sensação de presença no mundo real. Como sublinha Araújo (2018a), desta

¹²⁷ Esta aplicação era ativada por *QR code* mas necessitava de pequenos ajustes no ecrã do *smartphone* para que coincidissem com a posição da anamorfose de grandes dimensões construída no chão do hall da escola. No processo de criação desta aplicação também tentámos a ativação por GPS, mas o resultado era menos satisfatório.

forma, consegue-se uma boa integração da anamorfose com o ambiente real numa aproximação ao conceito de RM.

Para isso, adaptámos a anamorfose anteriormente contruída à visão binocular apresentando para cada olho uma anamorfose própria, construída a partir de seu ponto de vista específico. Assim, considerando a distância entre os dois olhos na visão humana foi definido outro ponto do observador O2, a partir do qual se construiu outra figura anamórfica do mesmo cubo. Em cada uma das anamorfoses foram coloridas as linhas de contorno com as cores azul à esquerda e vermelho à direita (cf. Figura 6.25).

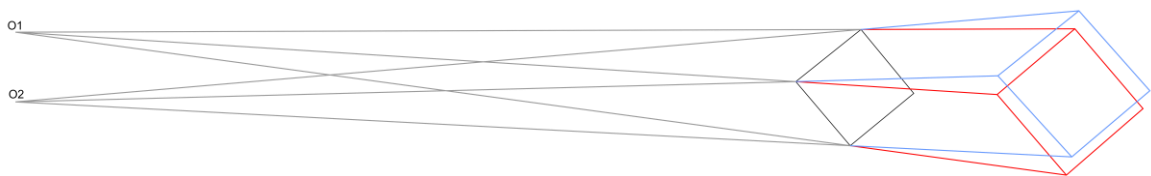


Figura 6.25 Anamorfose em anáglifo para visualização com óculos 3D

Este exercício contemplou, também, a construção de um par de óculos para visão 3D a partir de um modelo produzido para o efeito. Com este modelo, apresentado em anexo, os alunos construíram o próprio anáglifo utilizando cartolina de cor preta e celofane de cor azul e vermelha.

Para ver imagens 3D numa fotografia é necessário forçar os nossos olhos a verem coisas diferentes quando olhamos para a mesma fotografia (cf. ponto 4.10). Quando duas imagens diferentes são interpretadas pelo nosso cérebro, conseguimos ter a noção tridimensional. Isto é possível se conseguirmos separar as duas partes diferentes que estão na mesma imagem. A maneira mais simples de o conseguir é fazendo com que uma das partes tenha apenas a componente vermelha da imagem e a outra a componente azul. Utilizando óculos especiais, cujas lentes coloridas atuam como filtros, um olho irá ver a imagem com a componente vermelha e o outro com a componente azul (cf. Figura 6.26). Os anáglifos são imagens 3D que funcionam com um par de imagens estereoscópicas, isto

é, duas imagens do mesmo objeto, cujos pontos de captação da imagem estão separados pela distância entre os olhos (cerca de 4~5 cm).

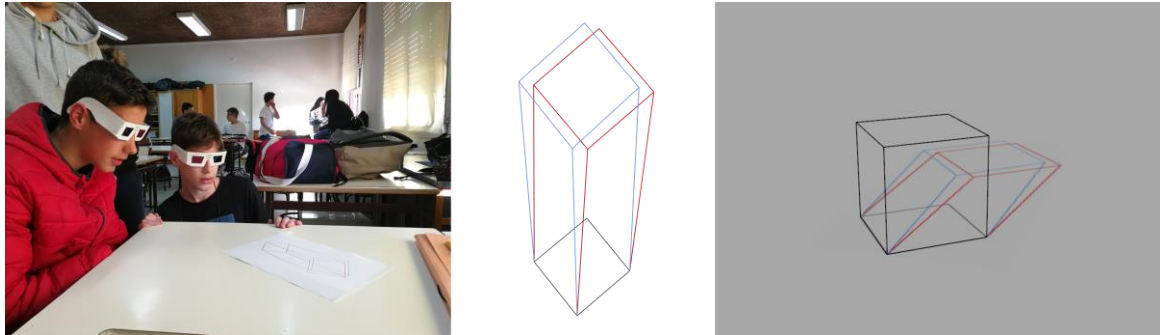


Figura 6.26 Representação em *SketchUp* da imagem visualizada com óculos 3D anáglifo.

Com este exercício pretendemos demonstrar que é possível criar imagens virtuais a partir de tecnologia simples. Os alunos ficaram entusiasmados com esta experiência e teceram os seguintes comentários que evidenciam as suas reações positivas e de surpresa perante o que estavam a descobrir.

“Dá mesmo para ver *bué* de bem... Está ali um cubinho mesmo” (José)

“Estou a ver um cubo perfeito! Oh! meu deus que lindo” (Duarte)

“E se eu me levantar o cubo cresce!... Que estranho... *bué* de fixe” (Matilde)

“Assim o cubo cresce... agora está até aqui” (apontou com o dedo). Olha eu a pegar nele.” (Carolina)

“É engraçado (sorriu com intensidade). Ah!... ok... está ali no *meinho*!... Parece um paralelepípedo... Ah! Já está!” (Ricardo)

Atualmente, existe diverso software de tratamento de imagem que possibilita criar e combinar pares estereoscópicos de modo a obter uma imagem única, mas em formato 3D. Assim, para complementar este exercício, solicitámos aos alunos que instalassem a aplicação Makelt3D através da *Play Store* e que pesquisassem uma imagem na internet para transformar num par estereoscópico. A aplicação é bastante intuitiva permitindo, rapidamente, fazer *upload* de uma imagem guardada no dispositivo ou capturar uma

fotografia através da câmara do *smartphone* e produzir uma decomposição de camadas em componente vermelha e componente azul da imagem. Este processo designado conversão estéreo permite transformar imagens 2D em imagens 3D quando vistas através de óculos anáglifos como se ilustra na figura seguinte.



Figura 6.27 Criação de imagens estereoscópicas para visualização com óculos 3D anáglifo

Os filtros anáglifos de papel produzem uma imagem aceitável a baixo custo e são adequados para visualizar estas imagem corretamente, demonstrando a percepção de profundidade e visão tridimensional. As imagens anáglifas são muito fáceis de visualizar, permitem desenvolver experiências pedagógicas para a visualização 3D e estimular a capacidade de abstração dos alunos, bem como a compreensão do fenómeno da cor, designadamente, para o estudo da síntese aditiva da cor.

6.1.3 Perspetivas imersivas com projeção equirretangular

Posteriormente foi proposto aos alunos a possibilidade de realizar perspetivas imersivas, isto é, a possibilidade de se transportarem para o interior dos próprios desenhos, observando-os numa perspetiva de 360 graus. Solicitámos que observassem a sala de aula girando sobre si mesmos e que imaginassem uma forma de desenhar todas as paredes simultaneamente: “Imaginem-se a desenhar dentro de um cilindro transparente”. Para facilitar esta tarefa propusemos aos alunos a utilização do artefacto representado na Figura 6.28 que tem subjacente a os princípios da perspetiva cilíndrica.



Figura 6.28 Desenhando intuitivamente a perspectiva cilíndrica.

Com este artefacto, construído propositadamente para o efeito, alguns alunos realizaram intuitivamente uma perspectiva cilíndrica desenhando com uma caneta de acetato sobre um semicilindro em acrílico transparente as paredes da sala e outros objetos observados a partir de um orifício colocado no eixo do semicilindro. A figura seguinte mostra o aspeto do trabalho realizado pelos alunos.



Figura 6.29 Artefacto criado para desenhar perspectiva cilíndrica.

Concluído o desenho, retirou-se o suporte em acrílico do artefacto para o estender sobre a mesa de trabalho, procedendo-se, deste modo, à sua planificação, isto é, o rebatimento do semicilindro sobre uma superfície plana. Por baixo do acrílico foi colocado uma folha de papel com uma grelha equirretangular, impressa com as mesmas dimensões do acrílico, revelando que a linha do teto e a linha do chão da parede da sala, representada na posição

frontal, correspondiam às linhas de fuga desenhadas nos 15 graus e -15 graus da grelha equirretangular. Optámos aqui por este tipo de grelha em vez de uma perspetiva cilíndrica para estabelecer uma correlação com a perspetiva esférica que nos será útil para o desenho de perspetivas imersivas. Como já referimos anteriormente, para pequenos ângulos de elevação não existe diferença significativa entre as grelhas. Nesta fase não queríamos entrar em grandes detalhes já que o objetivo principal desta experiência era transformar uma anamorfose numa perspetiva de forma intuitiva para os alunos.

Para confirmar esta conjectura os alunos colocaram-se na posição do observador relativamente ao artefacto usado para o desenho e, servindo-se de um esquadro geométrico do tipo *Aristo* colocaram-no em frente ao olho para medir estes ângulos (cf. Figura 6.30).

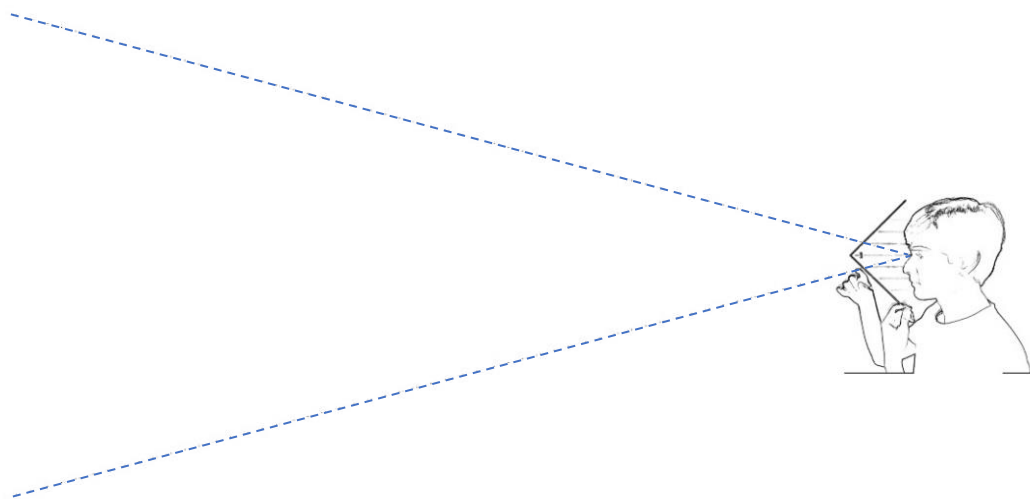


Figura 6.30 Instrumento para medir alturas – esquadro geométrico

Com o dedo da mão direita assinalaram os graus correspondentes à linha do teto e à linha do chão relativamente à parede frontal. Desta forma, os alunos tiveram a oportunidade de conferir que essas linhas correspondiam precisamente aos 15 graus que estavam registados no desenho efetuado, como se pode observar na linha verde da figura seguinte.

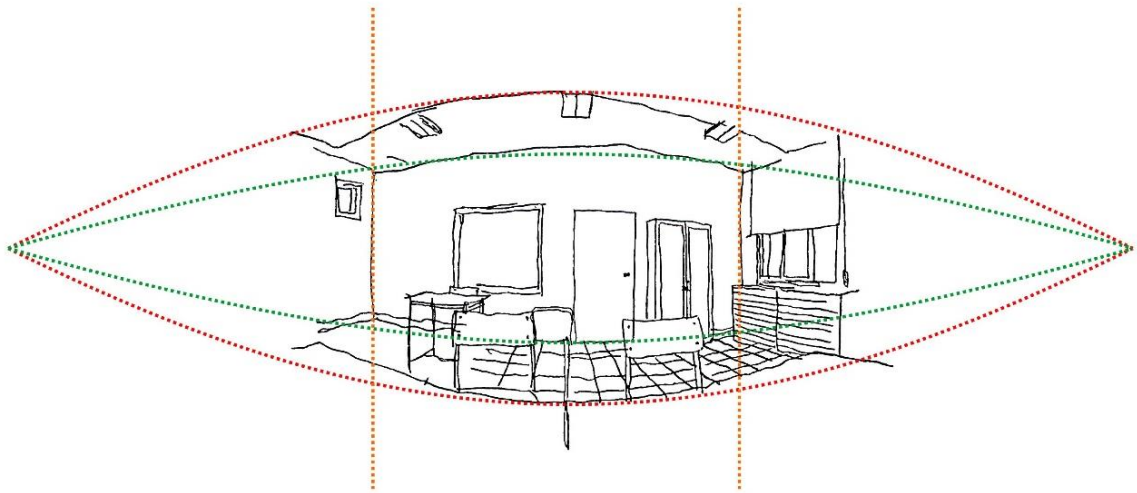


Figura 6.31 Identificação dos pontos de fuga em perspectiva cilíndrica

Utilizamos esta estratégia simples por economia de tempo já que os alunos usam, frequentemente, o transferidor para resolver exercícios de geometria. Este procedimento permite também usar o esquadro na posição horizontal, garantindo algumas condições relativamente aos planos a observar (paralelismo e perpendicularidade), bem como à posição do observador. O resultado obtido é uma aproximação confortável da perspectiva cilíndrica, como se pode constatar na figura 6.31. Portanto, quando o painel flexível se desenrola, o desenho na sua superfície não é mais uma anamorfose cilíndrica, mas uma perspectiva cilíndrica. Entendemos que, depois de ver essas distorções, os alunos estão preparados para conhecer uma perspectiva esférica adequada, a perspectiva equirretangular.

Os alunos apropriaram-se facilmente dos objetivos desta estratégia já que relacionaram com a utilização do astrolábio enquanto instrumento para medir a altura dos astros acima do horizonte e adotado pelos marinheiros a fim de calcular as distâncias das rotas marítimas. Os alunos referiram ainda que, nas aulas de matemática, tinham utilizado uma réplica deste instrumento para resolver problemas geométricos, designadamente, calcular a altura de um edifício ou a profundidade de um poço.

Com algum engenho é possível, de uma forma simples e prática, improvisar um instrumento de medição de alturas semelhante ao astrolábio, através de um transferidor,

uma palhinha, um fio de algodão, uma anilha metálica, fita cola, conforme apresentado na figura que se segue.

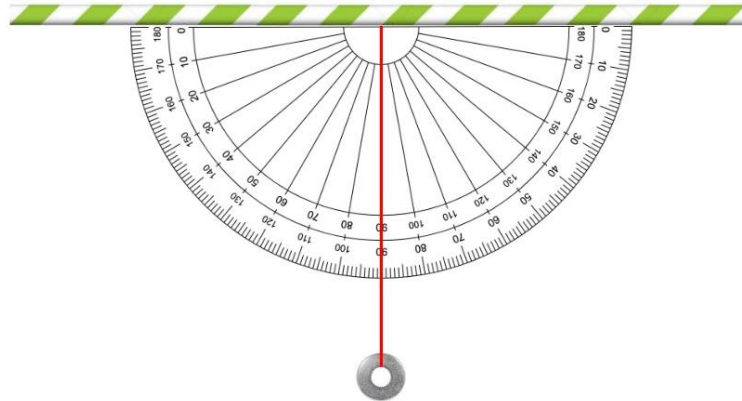


Figura 6.32 Instrumento improvisado para medir ângulos.

Contudo, o ideal seria improvisar um instrumento semelhante a um teodolito, instrumento ótico que mede com precisão ângulos verticais e horizontais, utilizado na navegação, na construção civil e na agricultura. A sua estrutura é feita num movimento circular em torno de dois eixos independentes.

Para complementar a atividade solicitámos também aos alunos que realizassem uma fotografia panorâmica da sala de aula recorrendo a uma funcionalidade da câmara fotográfica disponível nos *smartphones*.



Figura 6.33 Foto panorâmica da sala de aula (capturada com câmara de *smartphone*)

Analisado o resultado por comparação entre a foto panorâmica tirada com *smartphone* e o desenho elaborado através do artefacto identificado na Figura 6.28 procurou-se

identificar os principais elementos para a construção de uma perspetiva cilíndrica. Deste modo, foram então identificadas as linhas de fuga curvas (a cada linha correspondiam dois pontos de fuga) e foram, também, identificados os quatro pontos de fuga necessários para completar uma perspetiva 360 graus.

Um dos alunos que realizou a perspetiva cilíndrica de forma intuitiva com auxílio do artefacto referido anteriormente afirmou o seguinte:

“Professor! Não estava a perceber para que servia este desenho, mas agora sim, até podia ter feito melhor o meu desenho.” (Miguel)

Prosseguimos, então, com uma exploração e análise da grelha equirretangular, cotada em graus, identificando os quatro pontos de fuga necessários para completar a construção da perspetiva cilíndrica.

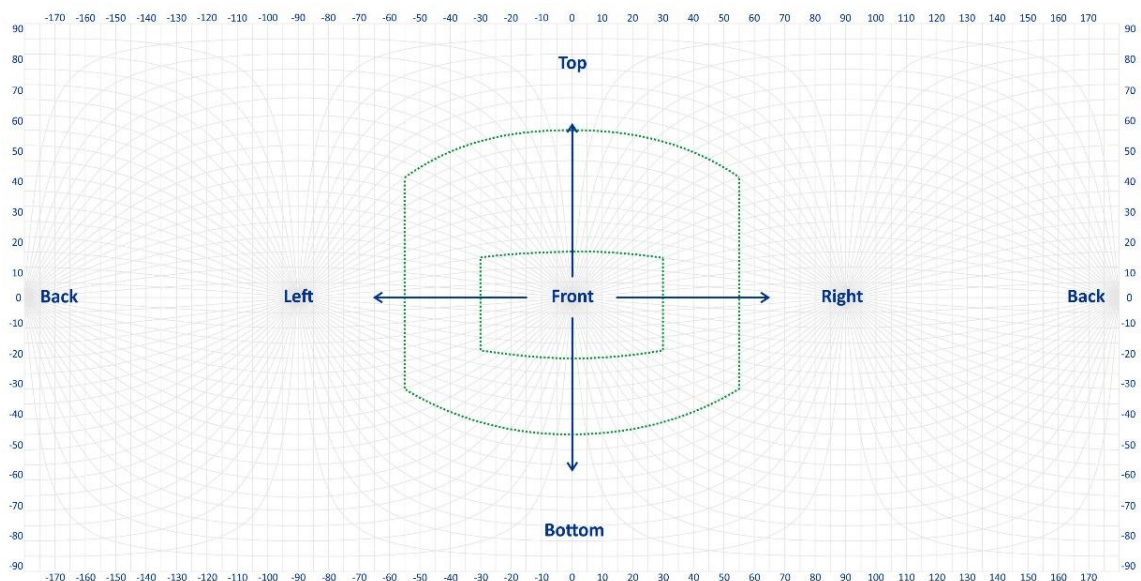


Figura 6.34 Grelha equirretangular para desenho imersivo

Observou-se, também, que nas imagens fotográficas captadas pela câmara dos *smartphones* é possível identificar linhas e pontos de fuga semelhantes aos que foram identificados no artefacto construído para desenhar a perspetiva cilíndrica intuitiva, bem como na grelha equirretangular apresentada na figura anterior.

Considerando que a posição do observador, o ângulo de visão, ou se quisermos, o cone visual determina, em boa medida, o resultado da perspectiva que queremos realizar, sugerimos aos alunos algumas amplitudes de conforto para que o trabalho resultasse num enquadramento equilibrado.

De acordo com o *Illustrated Dictionary of Architecture*¹²⁸, o cone visual corresponde ao campo de visão irradiando para fora do olho do observador numa forma mais ou menos cónica ao longo do eixo visual central.

O ser humano tem um ângulo aproximado de 60 graus de visão não distorcida que se estende como um cone imaginário desde os seus olhos para a frente. Fora do ângulo de 60 graus, os objetos começam a desfocar. Geralmente, em perspectiva linear, o cone de visão é indicado com um ângulo de 60 graus correspondendo e 30 graus à esquerda e à direita da linha de visão. Em perspectiva linear, a proporção de objetos desenhados fora do cone visual parece ficar distorcida, isso é, representa a difusão que vemos com nossos olhos.

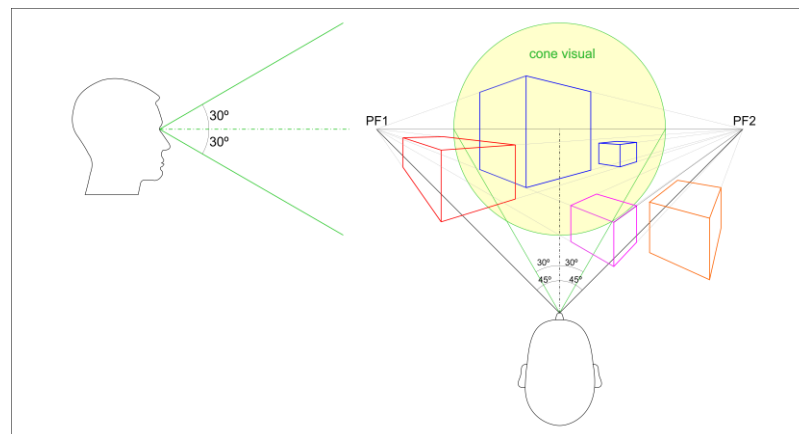


Figura 6.35 Representação do cone visual

Assim, o cone de visão é a região visual exibida por um desenho que se relaciona com a visão normal de uma pessoa sem a sua visão periférica. Dito de outro modo, o cone de visão é a área de visão ou o ângulo de visão. Tomando o exemplo concreto da sala de aula, se uma pessoa quisesse ver toda a dimensão de uma parede seria necessário um cone de

¹²⁸ Burden, E. (2012). *Illustrated Dictionary of Architecture*. The McGraw-Hill, 3ª Edição.

visão de 60 graus, então a pessoa precisaria de se posicionar longe o suficiente para alcançar esse grau de visão.

Sugerimos, então, aos alunos a representação do quarto em Arles de Van Gogh utilizando a grelha equirretangular, elaborada para o efeito. A grelha com 28,3 cm de comprimento e 14,1 cm de largura foi impressa numa folha de papel A3 de 120g/m², sobre a qual os alunos sobrepueram uma folha de papel vegetal de 90g/m² que utilizaram como suporte ao material riscador para os seus desenhos.

A forma mais óbvia de representar a pintura “*Bedroom in Arles*” de Vincent van Gogh seria começar por encontrar os pontos de fuga naturais, pese embora o artista não os tivesse seguido escrupulosamente¹²⁹. Mesmo assim, é possível desenhar sobre a imagem e identificar os pontos de fuga, a linha de horizonte e as formas reais dos objetos. Estudar o trabalho de artistas famosos também pode ajudar a entender a perspetiva de um ponto, como exemplificado na figura seguinte, sobre a obra de Vincent van Gogh.



Figura 6.36 Perspetiva cónica (um ponto de fuga) quarto de van Gogh em Arles

¹²⁹ Embora nesta obra ainda se conserve o uso da perspetiva, esta aparece exagerada para enfatizar as sensações que o artista pretende transmitir. Vincent van Gogh não procura representar de uma forma naturalista, mas usa a realidade para imprimir uma série de pinceladas de grande vigor expressivo. Embora conservando as bases da perspetiva clássica esta obra desvendava o caminho para as vanguardas artísticas do séc. XX.

A definição mais comum para ponto de fuga corresponde a um sistema matemático para representar um espaço e objetos tridimensionais numa superfície bidimensional através de linhas de interseção desenhadas verticalmente e/ou horizontalmente e que irradiam de um ponto na linha do horizonte.

Esta reprodução do quarto na casa amarela em Arles, que Vincent van Gogh pintou com cores fortes, era uma das suas pinturas favoritas (o artista pintou três versões deste quadro) e estão entre as obras mais conhecidas da atualidade. Em boa verdade, o quarto quase não tinha mobília, o autor acrescentou duas cadeiras para o representar a ele próprio e ao amigo Paul Gauguin. Pintou também vários exemplos do seu trabalho pendurados na parede.

Contudo, o desafio lançado aos alunos foi um pouco mais exigente e complexo. Imagina, agora, que conseguias entrar nesta pintura de Vincent van Gogh? A proposta de atividade consistiu em reproduzir o quarto de Van Gogh utilizando uma perspectiva curvilínea com auxílio de uma grelha equirretangular.

Os alunos começaram por realizar alguns exercícios preparatórios de representação de cubos e paralelepípedos para melhor se familiarizarem com o processo de construção da perspectiva curvilínea. Deste modo, sobre uma grelha equirretangular os alunos desenharam cubos e/ou paralelepípedos acima e abaixo da linha do horizonte, tal como haviam feito para o estudo da perspectiva cónica com dois pontos de fuga (cf. Figura 6.37).



Figura 6.37 Representação de volumes (paralelepípedos) em grelha equirretangular

Posteriormente, fornecemos as diversas versões do quarto de Van Gogh impressas em papel para que os alunos pudessem observar os detalhes da pintura. Sugerimos, ainda, que utilizassem o *smartphone* para pesquisar mais conteúdos e informações complementares para aumentar os seus conhecimentos sobre o artista e sua obra (cf. Figura 6.38).

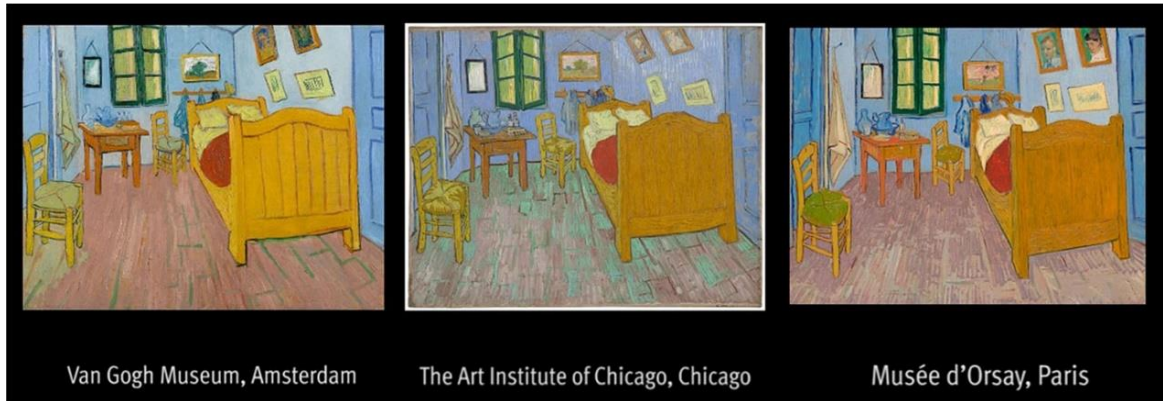


Figura 6.38 As três versões do quarto de van Gogh em Arles

Atendendo à idade dos alunos, para não complicar demasiado este exercício, solicitamos aos estudantes que procurassem realizar o trabalho sem grandes preocupações de rigor em termos de medição de ângulos e que se deixassem guiar um pouco pela intuição. Seguimos esta estratégia para que os estudantes construíssem o seu conhecimento por descoberta e sem estarem pressionados por cumprir um receituário demasiado prescritivo. Por outro lado, o trabalho constituía um desafio exigente já que seria impossível obter todas as dimensões do quarto de Vincent van Gogh. No entanto, para começar o trabalho sugerimos aos alunos que usassem como referência para uma altura de conforto das paredes uma amplitude entre os 20 graus e os 60 graus (cf. Figura 6.39).

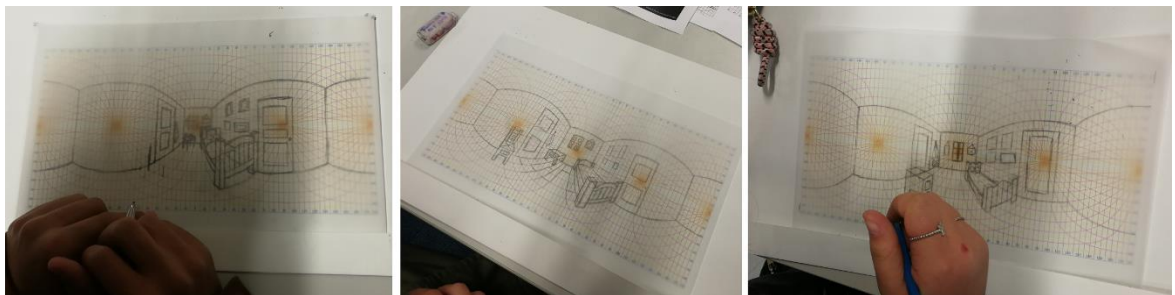


Figura 6.39 Desenhos iniciais dos alunos sobre o quarto de van Gogh

Os alunos realizaram o trabalho sem grandes dificuldades, começando por desenhar uma parede do quarto, seguiram para as paredes adjacentes e, finalmente, a parede que se situa à retaguarda que foi representada metade de cada lado do desenho.

Este trabalho decorreu nas últimas quatro aulas do 2º período pelo que houve a necessidade de prosseguimos rapidamente para a fase seguinte que consistia em fotografar o trabalho para que os alunos o pudessem visualizar em RV. No entanto, o trabalho foi retomado por um grupo mais reduzido de alunos no terceiro período no âmbito da unidade de trabalho “Projeto Artístico”¹³⁰. Um grupo de oito alunos escolheu dar continuidade ao exercício sobre a perspetiva equirretangular desenvolvendo trabalho em equipa. Partilharam entre eles dificuldades, procurando encontrar soluções para cada impasse. Sublinhamos o espírito colaborativo e a cooperação entre todos os alunos do grupo no sentido de obter resultados positivos. Em diversos momentos do desenvolvimento dos trabalhos os alunos tiravam fotografias para visualizar com a aplicação de Realidade Virtual escolhida a correção das soluções encontradas. Esta estratégia estimulava os alunos a serem autónomos e persistentes na procura de soluções para os problemas encontrados, como é possível constatar pelos seus comentários, que a seguir se transcrevem.

“Faltam aqui algumas linhas... se eu melhorar as sombras... isto aqui vai ficar perfeito!” (Tiago).

“É como se estivesse ali dentro... um cubo!... Só que parece que estou muito perto da parede” (Joana).

¹³⁰ O projeto artístico desenvolvido no 3º período envolve um plano de algo que os alunos pretendem fazer podendo ser individual ou em grupo, partindo sempre de um objetivo que pode resultar de um problema ou de uma situação a resolver.

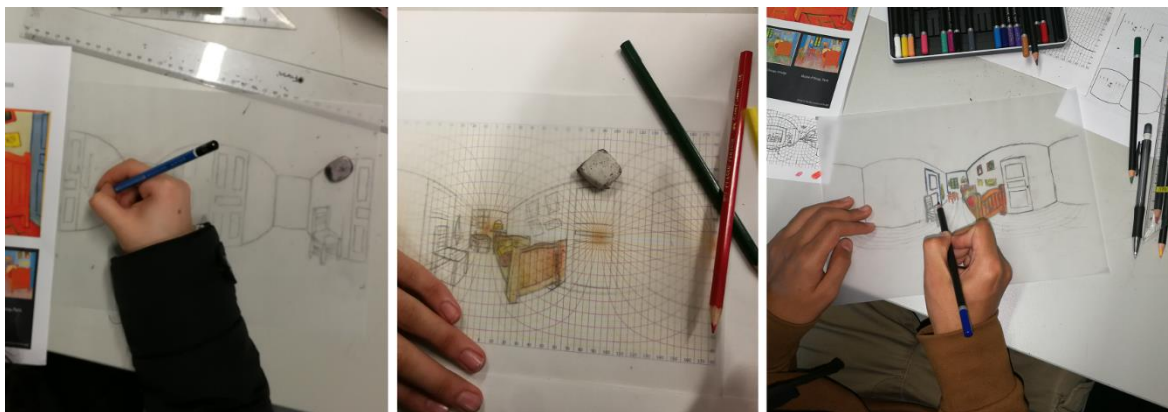


Figura 6.40 Aplicação de cor na representação quarto de van Gogh

À medida que os estudantes avançavam na construção da perspectiva cilíndrica começaram a mostrar interesse em aplicar cor ao seu desenho (cf. Figura 6.41). Todos se mantinham concentrados nas suas tarefas, alguns solicitavam ajuda para representar alguns objetos, designadamente, os que apareciam em posição oblíqua relativamente às linhas de fuga.

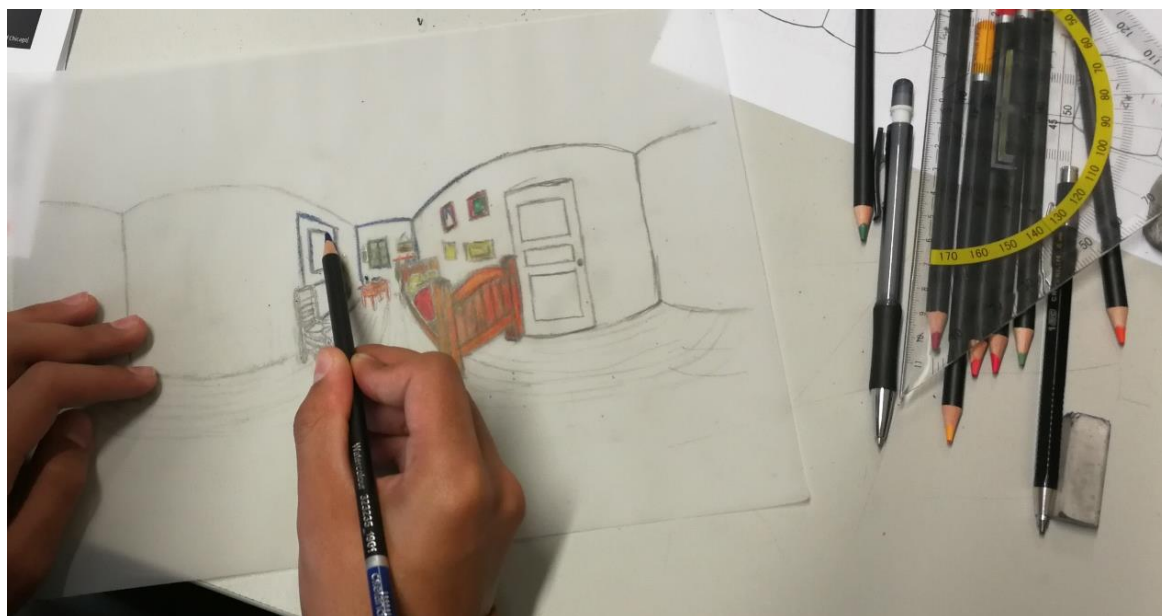


Figura 6.41 Aplicação de cor na representação quarto de van Gogh

Constatámos que seria necessário mais tempo para concluir os trabalhos. No entanto, estes alunos puderam desenvolver técnicas específicas de desenho e de pintura através de uma experiência partilhada entre eles adaptando-se a novas situações. Os alunos assumiram

um papel ativo na sua aprendizagem tão fundamental para a formação de estudantes críticos, reflexivos e inovadores (Perrenoud, 1999; Lowenfeld & Brittain, 1977). Com esta atividade quisemos proporcionar aos alunos a experimentação de ferramentas que promovem metodologias ativas de ensino dinâmicas em contexto de sala de aula (cf. Figura 6.42).

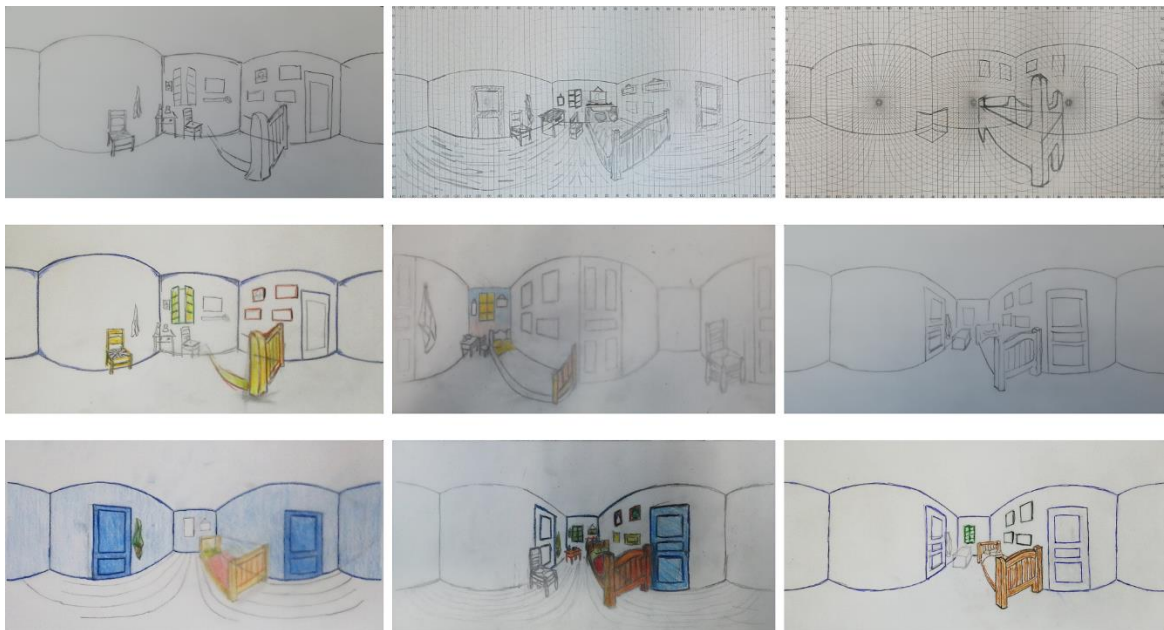


Figura 6.42 Desenhos dos alunos em perspectiva equirretangular

Selecionamos o trabalho do André (cf. Figuras 6.42 e 6.43) que serviu de base para exemplificar o método escolhido para transformar o desenho numa experiência imersiva. Para tal utilizámos a aplicação *PhotoSphere Viewer*, desenvolvida pela *Primitive Factory*, uma app gratuita para *Android*, que permite a captura de imagens produzidas em perspectiva equirretangular.



Figura 6.43 Perspetiva equirretangular do quarto de van Gogh (André)

Existem, no entanto, diversas plataformas que permitem adicionar metainformação para que, por exemplo, o Facebook reconheça uma fotografia como panorama, nomeadamente o *360° Tool Kit*, entre outras. Também o *Flickr*, um site da web de alojamento e partilha de imagens, fotografias, ilustrações, permite visualizar em formato virtual imagens construídas em perspetiva equirretangular.

Contudo, não obstante existem, atualmente, inúmeras plataformas (*iStock*, *dreamstime*, *shutterstock*, etc) que disponibilizam imagens em perspetiva equirretangular, poucas revelam o modo como são produzidas. Para além da espetacularidade e admiração que provocam, podemos observar que pouco acrescentam para a formação dos estudantes se não os desafiarmos a questionar e a tentar compreender o funcionamento destas tecnologias.

Questionar quais os processos e procedimentos que encerram ou os princípios que lhes estão subjacentes pode ajudar a compreender melhor a sua utilidade e contribuir para evitar que se tornem segredos guardados em autênticas caixas negras do conhecimento a que só alguns especialistas têm acesso.

Assim, consideramos pertinente uma nova abordagem a outras representações alternativas à perspetiva cónica que, no entanto, se assemelham à realidade e conferem um valor acrescentado à experiência pedagógica e ao desenho artístico.

Neste tipo de representação, a perspetiva não é realizada através da interseção de um plano com a pirâmide visual, mas através de segmentos de arco obtidos pela definição de ângulos traduzidos em dimensões lineares no desenvolvimento do cilindro.

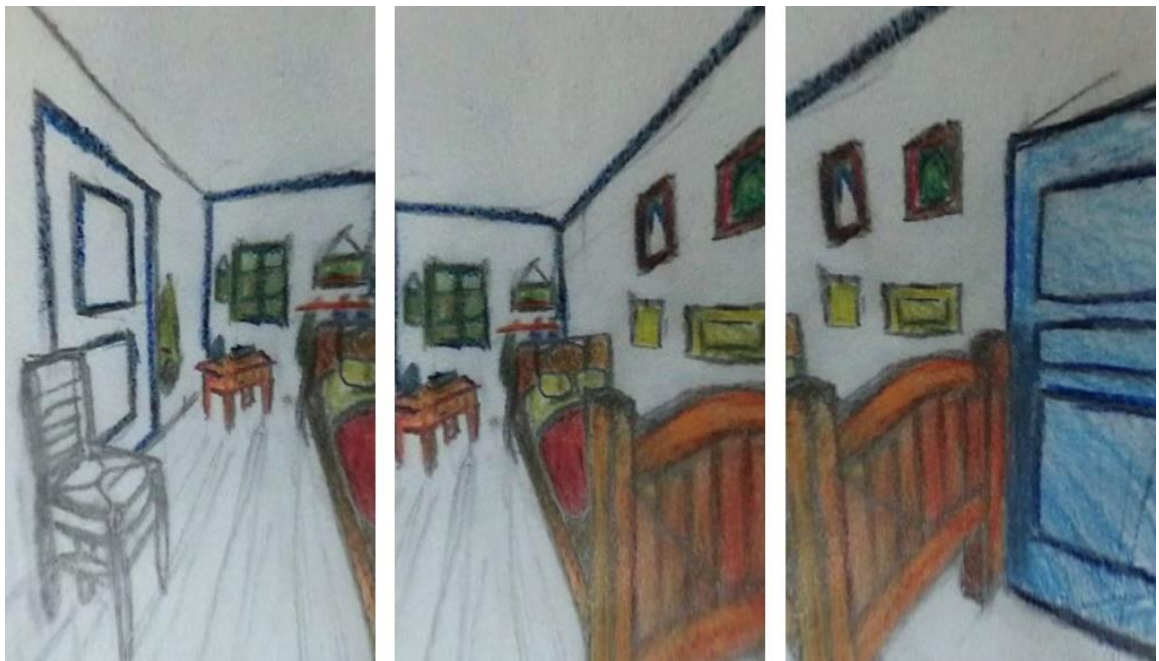


Figura 6.44 Imagem imersiva do trabalho do André sobre o quarto de van Gogh

Com a utilização desta aplicação foi possível criar uma experiência de aprendizagem imersiva em que os estudantes se podiam sentir no interior dos próprios desenhos através das possibilidades da tecnologia de RV. Para a realização desta atividade optámos por disponibilizar aos estudantes diversos dispositivos que construímos para o efeito (cf. Figura 6.45).



Figura 6.45 Dispositivos do tipo *Google cardboard* para Realidade Virtual

Os estudantes ficaram realmente fascinados com esta experiência que se tornou verdadeiramente gratificante apreciar as manifestações de alegria e entusiasmo demonstrado por todos os alunos.

“Espetacular!... Ah! Não esperava nada disto!... brutal...Ah!” (Catarina)

“Uau!... o meu desenho está *top!*...” (Filipe)

“Uau... Esta cama está melhor... fantástico... este aqui de quem é?” (Tiago)

“Tá fantástico... tem ali um ponto de fuga.... vejo seis pontos de fuga.” (Beatriz)

“Quem é que fez este?... a toalha é branca... humm... Este aqui já tem as portas...”
(José)

Salientamos que dos trinta e sete alunos que participaram neste projeto apenas cinco alunos tinham, anteriormente, experimentado óculos de RV (cf. Figura 6.46).



Figura 6.46 Alunos a visualizar os seus trabalhos com óculos de Realidade Virtual do tipo *cardboard*

Na apresentação dos projetos desenvolvidos no âmbito da unidade “Projeto Artístico” todos os alunos ficaram fascinados com os resultados apresentados pelos colegas que deram continuidade aos desenhos do Quarto de van Gogh.

“As aulas foram extremamente enriquecedoras porque tivemos uma experiência com este tipo de desenho que, apesar de ser mais rigoroso, consegue ser bastante divertido!” (Rui)

“Eu achei interessante a experiência de fazer um desenho em 3D.” (Carla)

“Gostei muito desta técnica de fazer um desenho 3D.” (Ana)



Figura 6.47 Visualização com *Google Cardboard* do desenho em perspectiva equirretangular

A visualização em RV foi possível através da aplicação *360° Sphere Viewer Lite* disponibilizada pela *Google Commerce Ltd.*, compatível com óculos de RV, de tipo *Google cardboard*. Esta aplicação permitia que os estudantes imergissem no interior dos próprios desenhos rodando 360 graus sobre toda a sua amplitude (cf. Figura 6.47).

Como atividade complementar aos seus trabalhos, proporcionámos aos alunos a realização de uma nova experiência de visualização do quarto de *Vincent van Gogh* utilizando os óculos de RV. Para isso, sugerimos aos estudantes que acessem à *Play Store* e instalassem a app *Virtual Bedrooms*, uma aplicação de RV que permite entrar virtualmente na famosa pintura de Vincent van Gogh através de óculos de RV. Esta aplicação disponibilizada pelo Museu Van Gogh, em Amsterdão, foi inspirada na exposição realizada no próprio museu em 2015, integrada no primeiro evento em que o museu exibiu pinturas clássicas junto do público recorrendo a experiências de RV.

Os alunos instalaram, sem dificuldade, a aplicação *Virtual Bedrooms* e iniciaram uma experiência de RV comparando os resultados do seu trabalho realizado em perspectiva

equirretangular e a experiência disponibilizada através da aplicação disponibilizada pelo Museu Van Gogh.

Ambas as aplicações permitem uma visualização 3D panorama 360 graus em dispositivos móveis do tipo *smartphone* com e sem óculos de RV (cf. Figura 6.48).

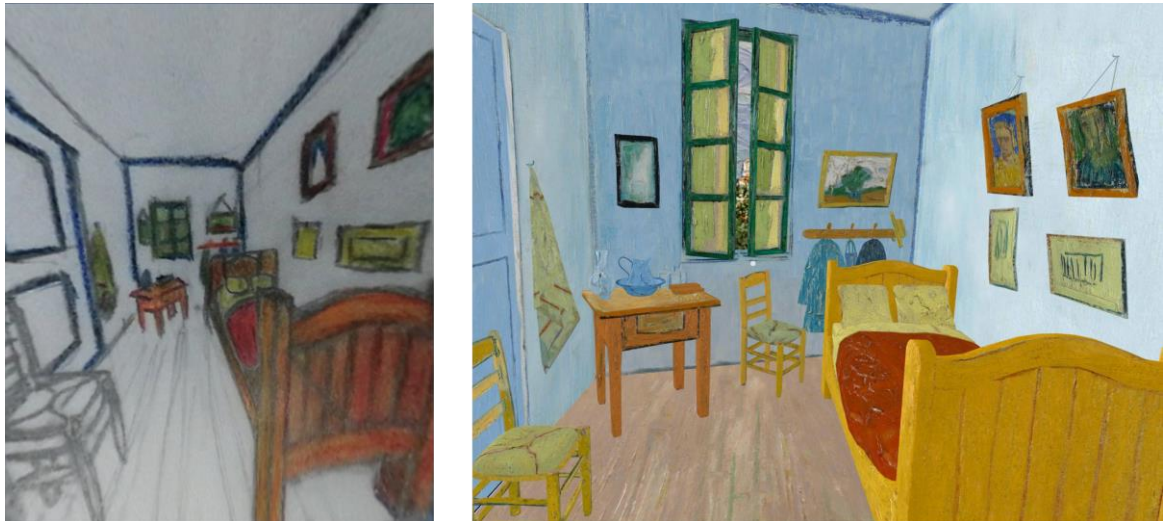


Figura 6.48 Visualização 2D da perspetiva equirretangular e app *Virtual Bedrooms*

Na figura anterior podemos observar uma comparação entre o trabalho do aluno André elaborado em perspetiva equirretangular (imagem da esquerda) e o aspeto da imagem disponibilizada pela aplicação do museu (à direita), ambas na modalidade *touch screen* (2D 360 graus, não imersiva).

Rapidamente os alunos se aperceberam que a versão 2D não imersiva que corresponde à visualização apenas no ecrã do *smartphone* revela evidentes semelhanças entre os trabalhos realizados pelos alunos e a aplicação disponibilizada pelo museu. De igual modo, quando passaram para o modo 3D imersivo, isto é, com a utilização de óculos de RV, os alunos constataram que se conseguiam movimentar dentro dos seus próprios desenhos quase da mesma forma que se movimentavam na aplicação disponibilizada pelo Museu Van Gogh.



Figura 6.49 Visualização imersiva com óculos de Realidade Virtual da perspectiva equirretangular e app *Virtual Bedrooms*

Na figura anterior, a imagem da esquerda representa um *print screen* do aspeto visual do trabalho elaborado pelo André em perspectiva equirretangular e à direita uma imagem recolhida pelo mesmo processo da app *Virtual Bedrooms*, ambas na modalidade de visualização 3D 360° imersivo com óculos de RV.

Os alunos reagiram com muito entusiasmo e admiração a esta experiência pedagógica como se pode constatar pelas observações que teceram.

“Nunca tinha experimentado uma coisa destas!... Isto funciona mesmo!” (Alexandre)

“Parece mesmo 3D!... que bonito... tenho que pintar melhor... está um pouco claro.” (Ana)

“Parece que estou dentro de um do quarto... agora é que eu vejo bem o desenho!” (Tiago)

A grande diferença entre as duas experiências reside no facto de a aplicação do Museu Van Gogh proporcionar uma experiência imersiva maior, já que contempla interação com diversos espaços e elementos das cenas recriadas. No caso da aplicação *Virtual Bedrooms*, o ambiente terá sido concebido através de desenho digital 3D e contempla informação complementar e ainda ambiente sonoro.

Atualmente, os *smartphones* mais avançados incorporam serviço dedicado de fotos 360 graus (através do *PhotoSphere*) combinado com excelente tecnologia nas câmaras digitais que permitem capturar fotos panorâmicas de enorme qualidade. Esta tecnologia encerra, do ponto de vista artístico, inúmeras potencialidades e oferece ao utilizador comum a possibilidade de criar uma galeria de fotos em alguns segundos, sem que tenha necessidade de tampouco saber que existe um algoritmo automático para fazer arquivos de fotos panorama. Isto é, o programa suporta os modos horizontal, lado a lado e vertical; alinhar pontos e combinar fotos que permite ajustar áreas sobrepostas para obter resultados ideais. Talvez esta reflexão seja importante para compreender a razão pela qual, quando um panorama 360 graus é exibido como uma imagem plana, aparece distorcido. Deste modo, é facilmente compreendido que, quando criamos panoramas 360 graus nos nossos equipamentos digitais, existe um algoritmo que suporta alinhamento automático, aprimoramento e combinação de diversas imagens. O mesmo se poderia dizer sobre as imagens capturadas com as lentes olho de peixe, mas que, por razões pedagógicas, não abordámos no âmbito desta investigação.

6.1.4 Projeto artístico

A planificação da disciplina de Educação Visual no 9º ano prevê uma abordagem ao Projeto Artístico como uma estratégia para encerrar o percurso escolar realizado ao longo do 7º, 8º e 9º anos de escolaridade. O projeto Artístico é concebido como uma estratégia para que os alunos possam desenvolver o pensamento crítico, construir a própria aprendizagem, desenvolvendo o processo de aprender a aprender. Assim, pretende-se que os projetos se tornem numa oportunidade de desenvolver aprendizagens significativas para os alunos, indo ao encontro das suas necessidades, motivações e permitir o desenvolvimento das suas capacidades e aptidões pessoais.

A metodologia de trabalho assenta em processos criativos no âmbito das artes plásticas e no desenvolvimento e utilização de recursos de natureza diversa. A metodologia processual prevê o trabalho de pesquisa e a integração de conhecimentos de natureza variada,

traduzindo-se em abordagens que se valorizam sempre como resultado de caminhos pessoais e de descoberta.

Não obstante a maior parte dos trabalhos desenvolvidos nas aulas de Educação Visual serem considerados projetos desenvolvidos segundo a metodologia de design (processual), a ideia ao Projeto Artístico tem subjacente uma maior dimensão mais abrangente, podendo ser realizados individualmente ou em grupo. Podem ainda ser de natureza transdisciplinar e contar com o apoio de professores de outras disciplinas.

Não estando inicialmente previsto neste itinerário formativo a abordagem ao projeto artístico, decidimos incluir uma breve referência aos trabalhos desenvolvidos pelos alunos já que, em boa medida, se relacionavam com a temática em questão. Habitualmente, os alunos escolhem temas relacionados com a Pintura, o *Design*, o Desenho, as Narrativas visuais, a Fotografia, ou o Vídeo. Contudo, nestas turmas, um número significativo de alunos optou por trabalhos relacionados com as Anamorfofes, a RV e a RA, o Desenho 3D e as Esculturas digitais.

Salientamos aqui os trabalhos desenvolvidos em articulação com a disciplina de história nomeadamente na sequência das comemorações do 45º aniversário do 25 de abril de 1974 e que consistiu na construção de uma réplica da icónica Chaimite. Neste trabalho os alunos utilizaram diversos materiais e incluíram o desenho das rodas em software de desenho 3D, bem com a impressão das rodas para o modelo criado à escala (cf. Figura 6.49).



Figura 6.50 Desenho 3D para modelo de Chaimite

Um grupo de alunos interessou-se pela escultura digital e impressão 3D desenvolvendo uma réplica do monumento concelhio de homenagem às vítimas da Primeira Grande Guerra, também em articulação com a disciplina de história (cf. Figura 6.51).



Figura 6.51 Escultura digital

Outro grupo de alunos realizou um trabalho em RA sobre alguns elementos da Tabela Periódica em articulação com a disciplina de Física e Química (cf. Figura 6.52).



Figura 6.52 Elementos da Tabela Periódica em Realidade Aumentada

Alguns alunos escolheram aprofundar os seus conhecimentos sobre ilusão de ótica investigando sobre as distorções implicadas no *Ames Room* (cf. Figura 6.53).



Figura 6.53 Ilusões de ótica – Ames Room

Outros alunos decidiram enriquecer a sua experiência pedagógica com anamorfozes, realizando a anamorfose de um quadrado em três planos seguindo o método adaptado do perspetógrafo de Albrecht Dürer (cf. Figura 6.54).



Figura 6.54 Anamorfose de um quadrado em três planos

Ainda outro grupo de alunos decidiu realizar uma anamorfose de um cubo em três planos seguindo também o método adaptado do perspetógrafo de Albrecht Dürer (cf. Figura 6.55).



Figura 6.55 Anamorfose de um cubo em três planos

No âmbito da participação no concurso da Bienal na Escola dois alunos construíram um trabalho na modalidade Digital Mista onde aplicaram conhecimentos sobre RA (cf. Figura 6.56).

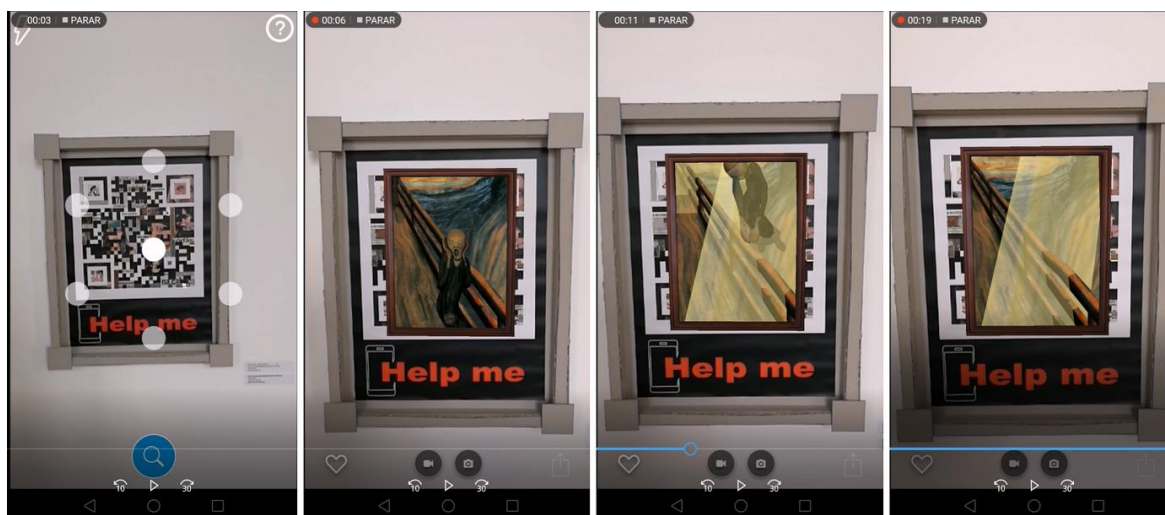


Figura 6.56 Realidade Aumentada para Bienal na Escola

Também um grupo de duas alunas procurou enriquecer a sua experiência com a construção de anamorfozes sobre uma superfície curva (cf. Figura 6.57).

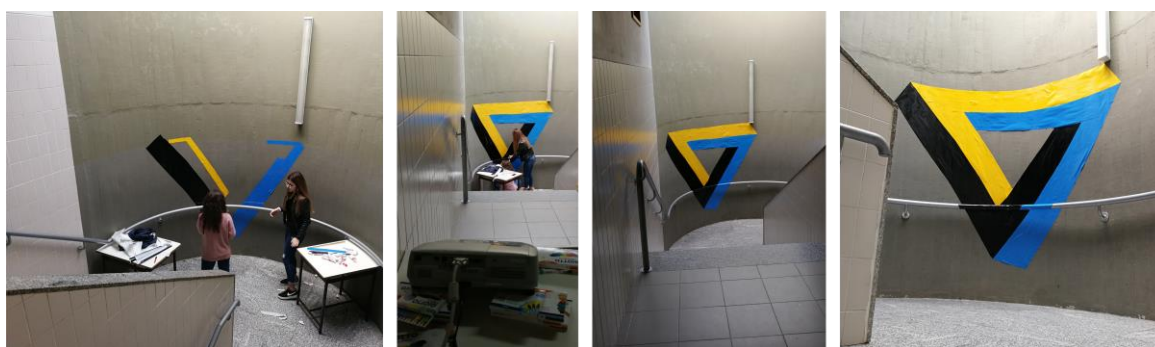


Figura 6.57 Anamorfose em superfície curva

Vários outros alunos procuraram melhorar a sua experiência com o estudo das anamorfozes e realizaram uma pesquisa sobre anamorfose cilíndrica (cf. Figura 6.58).



Figura 6.58 Anamorfose cilíndrica

Ao longo da realização dos diversos projetos verificou-se um aumento da participação e empenho dos alunos na realização das tarefas, traduzida num acréscimo de motivação para a consecução dos trabalhos e, conseqüentemente, na valorizando da disciplina de Educação Visual. Reconhecemos que esta estratégia ajudou a promover a inovação no processo de ensino e de aprendizagem, a divulgar as mais recentes teorias e práticas de utilização de ferramentas digitais, fomentando a integração no contexto educativo, designadamente, na educação artística. Procurámos implementar novas práticas educativas, que se adequam ao contexto de ensino numa época de transformação digital. Procurámos, também, refletir sobre o papel dos novos recursos digitais utilizados em benefício do processo de ensino e aprendizagem e a sua eficácia na dinamização de aprendizagens colaborativas.

6.1.5 Artefacto digital final

No âmbito desta investigação realizámos ainda um artefacto digital final que incluiu diversos trabalhos produzidos ao longo da preparação, do desenho e implementação do itinerário formativo descrito neste relatório, que consiste num jogo de RV desenvolvido através da plataforma *Unity 3D*. Este artefacto traduz o resultado da incorporação de diversas experiências pedagógicas realizadas pelo professor e pelos alunos participantes no desenvolvimento e implementação deste itinerário formativo. Esta aplicação consiste num jogo educativo que permite visualizar e interagir com diversos tipos de anamorfose e

outras construções digitais. Os cenários foram desenvolvidos no próprio *Unity 3D*, em *SketchUp* e integra também um modelo humanoide criado com o software *MakeHuman*.

Segundo Marcos (2012), o processo de criação artística desenvolve-se segundo um modelo de reflexão e questionamento que envolve dois ciclos de pensamento: por um lado, a atividade de meditação estética e, por outro, a atividade de visitar a ideia original (visão seminal) envolvendo-a numa confrontação com as várias fases de desenvolvimento do processo de criação artística em média-arte digital. Este espaço de reflexão pode influenciar de uma forma determinante a qualidade estética do artefacto, na medida em que, o processo de meditação estética também significa “a conceção e criação de mecanismos de questionamento do mundo através de um processo de interação com o artefacto em desenvolvimento para (re)criar significados ou reforçar sentidos” (Marcos, 2012, p. 144).

Assim, os artefactos de média-arte digital são “na sua essência mais profunda, mais do que artefactos para serem apreciados passivamente, mas objetos naturalmente virtuais, interativos ou imersivos, levando o utilizador-fruidor em uma viagem de contemplação estética de natureza polissémica [...] potenciando experiências qualitativas, algumas verdadeiramente transdisciplinares” (Marcos, 2014, p. 6). A média-arte digital corresponde a uma utilização dos meios digitais como ferramentas de criação e como matéria prima “onde a ênfase criativa é posta (não exclusivamente) na dimensão informacional-comunicacional do artefacto” (Marcos, 2014, p. 5). Este autor sublinha a centralidade dos artefactos digitais computacionais que, visando proporcionar uma experiência qualitativa, convidam a uma interação e envolvimento do espectador e promovem o desenvolvimento de uma estética na média-arte digital.

Com este artefacto pretendemos visitar todo o percurso realizado ao longo desta investigação¹³¹ e, não sendo central para o objeto de estudo desta tese, constitui também uma mensagem que se deseja transmitir e, portanto, permite que esta comunicação e interação aconteça, procurando estimular as emoções e experiências do utilizador (alunos

¹³¹ <https://sites.google.com/view/manuelflores/p%C3%A1gina-inicial>

participantes neste projeto). No ato de criação o artista nunca está sozinho com o seu trabalho, existe sempre o espectador que reagirá de forma crítica ao seu trabalho artístico. Se o artista tiver êxito em transmitir as suas intenções em termos de mensagem, emoções ou sentimentos ao espectador então ocorre uma forma de “osmose estética” (Marcos, Branco & Zagalo, 2009, p. 601). Estes autores consideram também que os artistas exploram novas formas de envolver o espectador no trabalho artístico e potenciam a mudança de objeto para conceito na forma de objeto virtual. Este objeto pode ser dinâmico e volátil, cria efeitos expressivos, simula emoções e, às vezes, sentimentos por parte do espectador (Marcos, Branco & Zagalo, 2009, p. 606).

Frequentemente o processo de criação em arte digital desenrola-se a partir de um conceito ou de uma mensagem materializada no desenvolvimento de artefactos que proporcionam manifestações artísticas, através de tecnológicas digitais, garantindo resultados com valor estético. Assim, tendo em conta o nosso contexto profissional, pareceu-nos oportuno observar em que medida a mobilização de conceitos fundamentais de representação e comunicação podem ser pertinentes para melhorar a compreensão dos objetos artísticos digitais.

6.2 Discussão dos resultados

Os resultados desta investigação evidenciam que, numa era de transformação digital onde os recursos tecnológicos digitais são facilmente difundidos e disponibilizados através de um *smartphone*, é necessário mobilizá-los e potenciá-los para tornar o processo de ensino-aprendizagem mais estimulante, diversificado e participado. Atualmente, as tecnologias digitais têm um grande impacto na sociedade, criando novas formas de aprendizagem e de disponibilização do conhecimento. No entanto, é importante que os alunos se possam concentrar nos conteúdos em vez de deambular pela mecânica da instrução das aplicações digitais ou no mero entretenimento que as tecnologias móveis proporcionam. Falamos da necessidade de uma capacitação dos estudantes para o uso das tecnologias digitais através de um envolvimento ativo nas aprendizagens.

Este é, aliás, um dos grandes pilares da estratégia prevista no Quadro Europeu de Competência Digital para Cidadãos (DigComp)¹³², que traduz a necessidade de promover nos alunos as competências necessárias para o uso das tecnologias digitais de forma crítica e criativa. Tal implica integrar atividades, tarefas e propostas de avaliação da aprendizagem que promovam nos estudantes a capacidade de identificar e resolver problemas técnicos ou mobilizar de forma crítica o conhecimento tecnológico para novas situações e/ou resolução de problemas.

Nesta ordem de ideias, consideramos que, com a aplicação deste itinerário formativo para o estudo da perspectiva, foi possível desenvolver nos alunos capacidades que lhes permitam ser mais confiantes e independentes no desenvolvimento das suas capacidades e habilidades em ambientes digitais. Com os artefactos mobilizados neste itinerário foi possível envolver os alunos na sua própria aprendizagem através de atividades motivadoras e inspiradoras que os desafiaram a desenvolver conhecimentos, competências e capacidades, quer do ponto de vista individual, quer do ponto de vista coletivo. Consideramos, ainda, que as atividades pedagógicas realizadas com os alunos foram estimulantes na medida em que os incentivaram na exploração da experiência digital despertando a curiosidade para aprender mais sobre as matérias abordadas. Dos dados recolhidos emergiu um conjunto de categorias que a seguir exploramos: a centralidade do aluno no processo de ensino-aprendizagem, o uso das tecnologias digitais e as potencialidades que encerram no processo de aprender a aprender, a motivação e o empenho dos alunos e, ainda, a capacidade de autorregulação das aprendizagens.

6.2.1 A centralidade do aluno no processo de ensino-aprendizagem

A primeira categoria de análise, mais abrangente e genérica, permite enfatizar a centralidade do papel dos alunos do processo de ensino-aprendizagem em que o aluno assume um papel mais ativo na construção do conhecimento e que exige ao professor um

¹³² *European Framework for the Digital Competence of Educators: DigCompEdu*, pelo Joint Research Centre da Comissão Europeia, publicado em 2015.

papel diferente do modelo tradicional, ou seja, um criador de situações educativas que permitam aos alunos descobrirem as suas potencialidades e ampliem o seu conhecimento no quadro de uma perspectiva curricular flexível (Stenhouse, 1987).

Qualquer alteração que se pretenda introduzir na forma como se estrutura e concretiza o processo de ensino-aprendizagem não pode ser realizado à margem do currículo, aqui entendido como uma proposta formativa que envolve a construção de saberes, capacidades, valores, atitudes e procedimentos essenciais na preparação dos alunos para se tornarem cidadãos livres, interventivos e críticos, numa sociedade em constante transformação.

A transição digital da sociedade é vista como um dos desafios da escola no século XXI, na medida em que implica uma maior atenção aos processos de ensino-aprendizagem dos alunos e ao seu papel enquanto principais destinatários do currículo. Assim, a implementação deste itinerário formativo contemplou a integração de processos de tecnologias digitais no currículo escolar garantindo a utilização segura, crítica e criativa das mesmas. Neste projeto foram incorporados alguns artefactos tecnológicos, já existentes, criteriosamente seleccionados, e, ainda, outros artefactos desenvolvidos para suportar a implementação deste itinerário formativo, como se descreveu na secção anterior. Procurámos complementar as tecnologias digitais com tecnológicas analógicas integradas em metodologias ativas que implicam a participação dos estudantes no processo de ensino-aprendizagem.

Com a aplicação deste itinerário formativo foi possível promover nos estudantes competências e habilidades necessárias à construção do próprio conhecimento, onde o professor assume o papel não apenas de “facilitador”, mas também de alguém que equaciona a “partilha do conhecimento” na lógica da criação de “comunidades de aprendizagem”, permitindo adaptar e até inovar o currículo em contexto: “os processos e práticas de inovação curricular constituem estratégias determinantes para a melhoria da qualidade de ensino”; competindo aos professores realizarem o currículo “adaptando, transformando, reinventando e inovando a proposta curricular central” (Flores & Flores, 1998, p. 84). A visão dos alunos sobre a sua participação no itinerário formativo é muito

elucidativa, como pode ser depreendido pelas suas opiniões, quando manifestam agrado pelas aprendizagens realizadas, pelas propostas que tiveram de desenvolver, pela manipulação das tecnologias digitais e ainda pela possibilidade de partilha que a experiência lhes proporcionou:

“Estas aulas foram muito interessantes porque aprendi a desenhar em perspetiva e a utilizar a RA”. (Joana)

“O que mais gostei foi de construir a minha peça 3D e mostrar aos meus colegas como a fiz”. (Ana)

Esta estratégia de abordagem aos conteúdos implicou uma transformação na dinâmica da sala de aula e a flexibilização dos espaços de aprendizagem que incluiu também a utilização de *smartphones* e/ou dos *tablets*. Implicou também novas e complexas exigências na abordagem aos conteúdos da disciplina de Educação Visual procurando ir para além da mediação tecnológica na aprendizagem. Procurámos estabelecer, frequentemente, interações entre professor-aluno e entre alunos-alunos, permitindo que o espaço da sala de aula se multiplicasse em múltiplas possibilidades e diversas situações de aprendizagem para os alunos. Esta visão implica o entendimento do currículo como um projeto aberto e flexível que inclui formas diversificadas e criativas de ensinar e de aprender, ou seja, como sugere Pérez Gómez (2012), um currículo emergente, baseado em problemas ou em situações, entendido não como lista de conteúdos, mas como um itinerário de experiências transformadoras de acordo com o projeto individual de cada estudante.

Segundo Leite (2002, p. 217) um projeto tem de suportar (implícita e explicitamente) “perfis de mudança que definam as metas, as estratégias e as metodologias previstas como mais adequadas, os recursos e materiais disponíveis ou a organizar, os papéis dos vários intervenientes e relações entre eles”. Como referimos noutro contexto, a inovação curricular tem uma vertente pragmática que remete para o desenvolvimento e

recontextualização do currículo numa ótica de adaptação às dinâmicas do contexto (Flores & Flores, 1998, p. 86). O empenho e a determinação dos alunos na realização das tarefas foi preponderante para o sucesso na realização dos trabalhos, destacando-se, mais uma vez, a sua adesão às propostas colocadas no âmbito do itinerário formativo e as aprendizagens realizadas:

“Eu achei a aula bastante interessante, percebi melhor como desenhar em perspectiva”. (Mariana)

“Gostei muito das aulas em que desenhamos as vistas porque criei uma peça em 3D e depois imprimi na impressora”. (Mariana)

Consideramos que a atribuição de significado às aprendizagens é talvez o elemento-chave para a produção de conhecimento, por isso, procurámos promover um processo de aprendizagem assumido pelos alunos, numa lógica de saber em ação, a partir de uma necessidade social para produzir conhecimento com possibilidade de a aplicar em situações novas.

Com este itinerário estimulámos os alunos a aprender a produzir o próprio currículo, isto é, aprender a aprender – diferentemente da lógica de consumir currículo – com atividades práticas e experiências reais numa lógica de mobilização de competência em ação (Perrenoud, 2013), isto é, agir numa determinada situação mobilizando recursos intelectuais e emocionais. Como refere Harari (2018), em “21 Lições para o Século XXI”, as escolas deverão enfatizar o pensamento crítico, a comunicação, a colaboração e a criatividade que são aspetos associados à resolução de problemas complexos onde os alunos possam mobilizar diversos recursos e saberes (conhecimento), habilidades

(capacidades) e atitudes. Pacheco (2001, p. 151) afirma que a inovação curricular “está ligada a mudanças que contribuam para a transformação e melhoria dos processos e práticas de ensino-aprendizagem e, conseqüentemente, para a confirmação do sucesso educativo dos alunos”.

Podemos concluir que a concretização deste itinerário formativo estimulou os alunos a desenvolverem práticas colaborativas, a aumentar as suas “capacidades de autonomia” (Gimeno & Pérez Gómez, 1998), tendo contribuído para melhorar a tomada de decisões curriculares, e assumindo o aluno como meta fundamental, com as suas necessidades, interesses e motivações, e comprometendo o professor com a articulação das suas estratégias num projeto comum, partilhado e aceite (Flores & Flores, 2000).

Reforçamos a ideia de que no domínio curricular, há orientações que concedem ao professor um papel decisivo na produção do currículo quando deixa de “ser visto como um mero executor de prescrições e passa a ser encarado como um agente que participa de forma activa no processo curricular, o que implica uma maior autonomia profissional e o reconhecimento de um leque mais diversificado de competências e responsabilidades” (Flores & Flores, 2000, p. 84). Deste modo, segundo Leite (2003, p. 80), os conceitos de professor investigador e de professor reflexivo legitimam “a conceção dos professores como configuradores do currículo e como decisores da adequação do currículo nacional às realidades locais”. Morgado (2005, p. 71) defende ainda que o professor contemporâneo não pode “deixar de integrar na sua atuação dimensões advindas de cada um dos modelos abordados, doseando-as sabiamente e tendo em conta algumas variáveis, tais como a sua personalidade, o tipo de alunos com que trabalha, os programas que operacionaliza”.

6.2.2 O uso das tecnologias digitais

A abordagem ao estudo da perspectiva através da estratégia implementada pelas anamorfozes ajudou a superar algumas dificuldades tradicionalmente identificadas na compreensão e aplicação de conceitos inerentes à representação gráfica tridimensional,

designadamente, a valorização da importância da posição do observador, a correta identificação dos pontos de fuga e a aplicação adequada dos efeitos da luz e da sombra enquanto elementos fundamentais para produzir o efeito de volume nos objetos. Os alunos aprenderam a reconhecer estes elementos como requisito fundamental para transformar linhas em duas dimensões num desenho com efeito tridimensional.

Em boa medida, a construção de anamorfoses contribuiu para a valorização exata da intensidade das sombras e da incidência da luz. Esta abordagem foi igualmente importante para o reconhecimento dos tipos de sombras própria e projetada.

A abordagem pelas anamorfoses contribuiu também para o reconhecimento da importância de identificar os pontos de fuga de um objeto e o lugar do observador para o estudo da perspetiva. Por outro lado, a abordagem ao estudo da perspetiva através dos contributos do perspetógrafo de Dürer permitiu realçar a importância da abordagem aos conceitos fundamentais da construção de anamorfoses para o estudo da perspetiva.

Desatacamos ainda que o uso de aplicações de RA foi determinante para o desenvolvimento da capacidade de visualização espacial dos alunos promovendo uma melhor compreensão dos conceitos relativos ao ensino da geometria projetiva e de um modo particular a abordagem ao Método de Monge e à Tripla Projeção Ortogonal.

Os resultados obtidos demonstram a pertinência da utilização do conceito de anamorfose para o estudo da perspetiva e para a representação da tridimensionalidade com alunos do terceiro ciclo do ensino básico, no âmbito da disciplina de Educação Visual. Com a construção de anamorfoses, os alunos aprenderam a reconhecer conceitos essenciais de perspetiva linear e de geometria descritiva (projetiva). Assim, através da construção de exemplos reais de anamorfoses, os estudantes realizaram aprendizagens significativas relacionadas com o estudo da representação em perspetiva, tão importante para a perceção da tridimensionalidade.

As respostas recolhidas, em contexto de autoavaliação das aprendizagens e de avaliação dos processos, através de Grupo focal e da aplicação *Mentimeter*, evidenciam que a

preferência dos alunos foi para o desenho 3D em *SketchUp*, para a utilização de aplicações em RA e, ainda, para a representação em projeções ortogonais (cf. Gráfico 6.1).

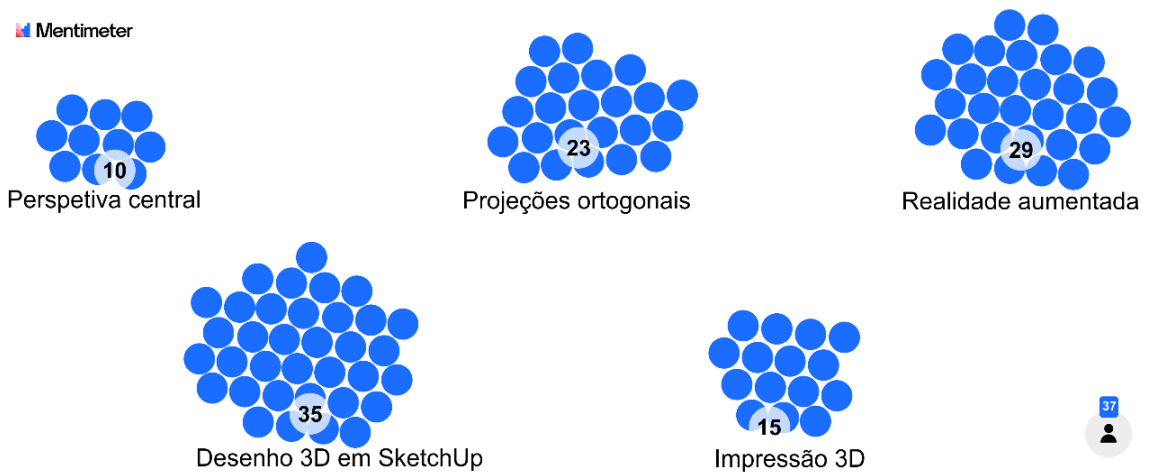


Gráfico 6.1 Atividades preferidas pelos alunos ao longo do 1º período

A visualização de sólidos e outras peças tridimensionais em formato digital revelou-se adequado ao estudo da geometria, designadamente, na abordagem à representação tridimensional de objetos. A possibilidade de manusear digitalmente um conjunto diversificado de peças permitiu a criação de um contexto favorável para a aplicação educacional da RA na disciplina de Educação Visual, possibilitando a sobreposição, em tempo real, de ambientes virtuais no ambiente real.

Constatamos, ainda, que o processo de visualização das peças mais complexas foi melhorado com a interação digital que permitia que todos os alunos pudessem manipular a mesma peça em simultâneo ou, ainda, optassem por realizar o percurso mais conveniente conforme o grau de dificuldade encontrada. Destacamos, ainda, as potencialidades de exploração das peças em modo orbital que permite a observação em diversos ângulos de visualização. Esta possibilidade permitiu que os alunos apreendessem melhor as vistas das peças que exigem maior grau de abstração. Deste modo, foi possível respeitar os diversos ritmos de aprendizagem dos alunos.

Por outro lado, a utilização do artefacto construído através da RA para encontrar os pontos de fuga numa anamorfose revelou-se fundamental para a correta visualização da projeção sugerida pela anamorfose (cf. Figura 6.23).

Com as experiências realizadas no decorrer deste itinerário formativo tornou-se evidente que a aplicação da anamorfose na arte contemporânea confere um valor simbólico à obra que através do efeito anamórfico o torna reversível pela conformidade com o ponto do observador/espectador. Esta possibilidade permite uma exploração da interatividade com a obra de arte que resgata a participação do espectador como elemento-chave para ativar o ambiente virtual. Este envolvimento requer a participação ativa do espectador para que o efeito da anamorfose o conduza para um ambiente virtual semelhante ao proposto pelas aplicações de RA acrescentando informação ao ambiente real. A interação com o espaço permite ao espectador explorar e controlar diretamente informação complementar em função do ponto de vista que assume. De facto, as interações com os objetos anamórficos permitem gerar novos significados através do retorno de informação sensorial. Neste itinerário foi possível, ainda, explorar este diálogo com figuras anamórficas que se constituíram como marcadores de RA para ativar animações digitais. Esta possibilidade de articulação entre distintos ambientes confere grandes potencialidades à mediação pelas tecnologias digitais na exploração do espaço físico e do espaço virtual.

A observação da interação dos alunos com as anamorfoses construídas permitiu registar que o efeito anamórfico os estimulou a assumirem um papel ativo na exploração do espaço com efeitos evidentes na capacidade de apreensão do espaço envolvente. Assim, concluímos que a exploração das anamorfoses permitiu a apropriação dos espaços físicos através da interação dinâmica e intencional com o ambiente real e virtual estabelecido pelas experiências pedagógicas e artísticas.

Quando questionados sobre o grau de satisfação com a utilização das aplicações de RA na disciplina de Educação Visual, todos os alunos revelaram respostas positivas (cf. Gráfico 6.2).

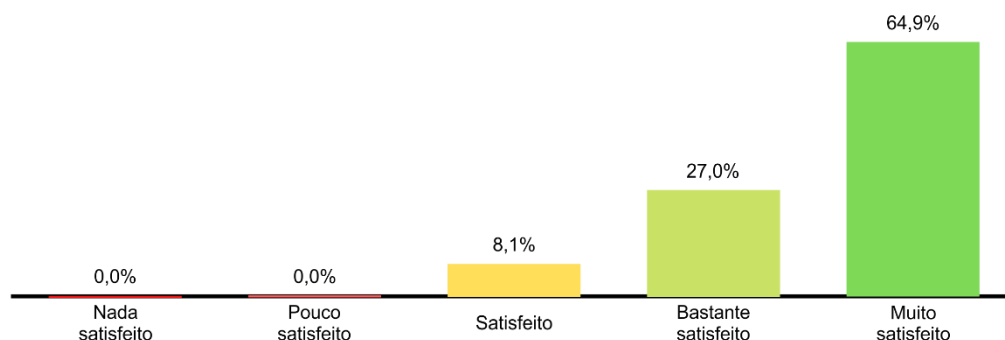


Gráfico 6.2 Satisfação dos alunos com a utilização da RA nas aulas de Educação Visual

No entanto, as manifestações de agrado foram ainda mais evidentes quando questionados sobre o aspeto prático da utilização da RA no estudo da geometria. Os alunos revelaram que os artefactos relacionados com as aplicações de RA utilizados no estudo da perspectiva e nas representações ortogonais foram importantes para a compreensão dos conceitos e ajudaram na realização dos exercícios geométricos (cf. Gráfico 6.3).

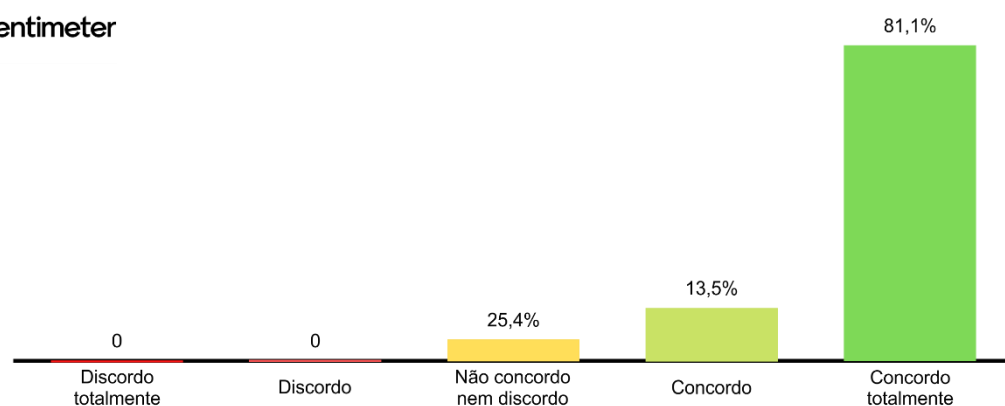


Gráfico 6.3 Importância da RA para a compreensão da noção de perspectiva

O mesmo não se poderá dizer relativamente à pertinência da utilização da RA na compreensão dos fenómenos relacionados com as ilusões de ótica (cf. Gráfico 6.4). Contudo, pelas respostas dos alunos na sessão de grupo focal realizada no final do 2º período, parece claro que a maior parte dos alunos conseguiu apontar semelhanças entre

as experiências de RA e as anamorfofes construídas pelos alunos através do método ortográfico.

 Mentimeter

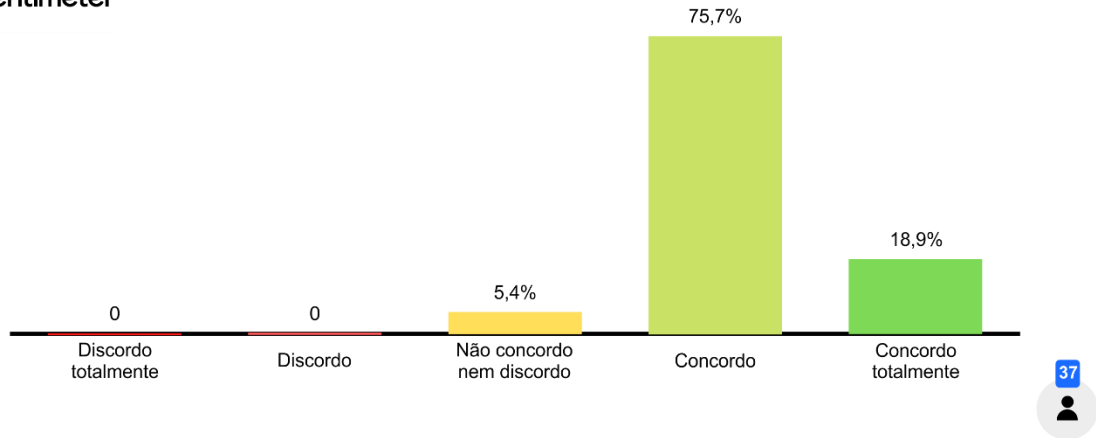


Gráfico 6.4 Importância da RA para a compreensão dos fenômenos de ilusão ótica

Vários alunos sublinharam a importância da aplicação da cor na anamorfose para a representação tridimensional mais próxima da realidade. Esta ideia parece consolidar-se com a pergunta feita aos alunos sobre se a construção de anamorfofes os ajudou a compreender melhor os fenômenos das ilusões óticas (cf. Gráfico 6.5).

 Mentimeter

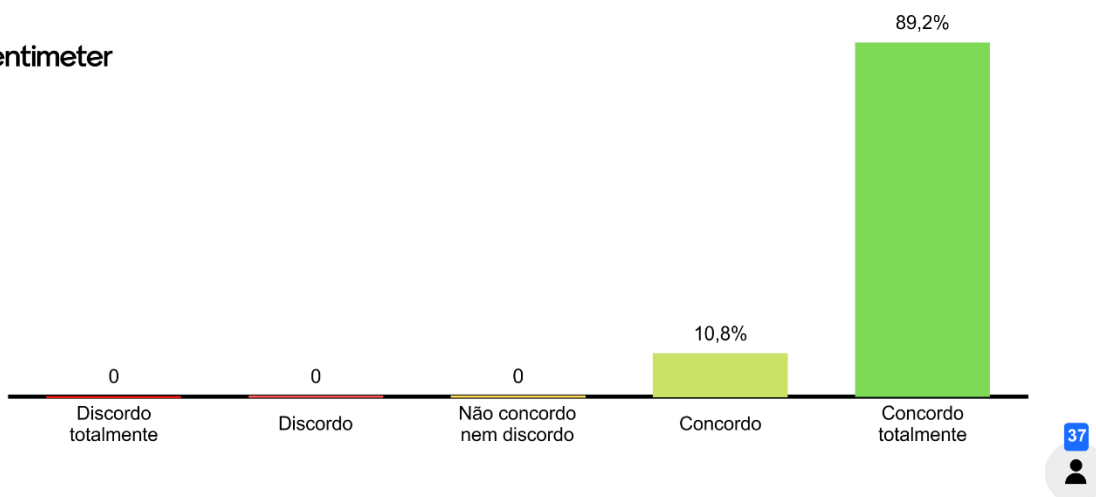


Gráfico 6.5 Importância das anamorfofes na compreensão dos fenômenos de ilusão ótica

As respostas obtidas sugerem que as construções de anamorfozes permitiram compreender melhor o fenómeno das ilusões de ótica, já que esta abordagem permite ultrapassar o mero jogo visual ou simples técnica de distorção de imagens. Durante o grupo focal, os alunos associaram a anamorfose à técnica utilizada pelos artistas para criar impacto e espanto nas suas obras onde as suas imagens podem ser reconstruídas a partir de um ponto privilegiado de observação.

A estratégia implementada parece transmitir a convicção de que na abordagem ao estudo da perspetiva no 9º ano de escolaridade tem vantagens a utilização de recursos simples, como é o caso da materialização do perspetógrafo de Albrecht Dürer.

Quando questionados sobre se a construção de anamorfozes os ajudou na compreensão da noção de perspetiva, as respostas dos alunos permitem concluir, sem margem para dúvida, sobre a importância da abordagem ao estudo perspetiva através da construção prévia de anamorfozes (cf. Gráfico 6.6).

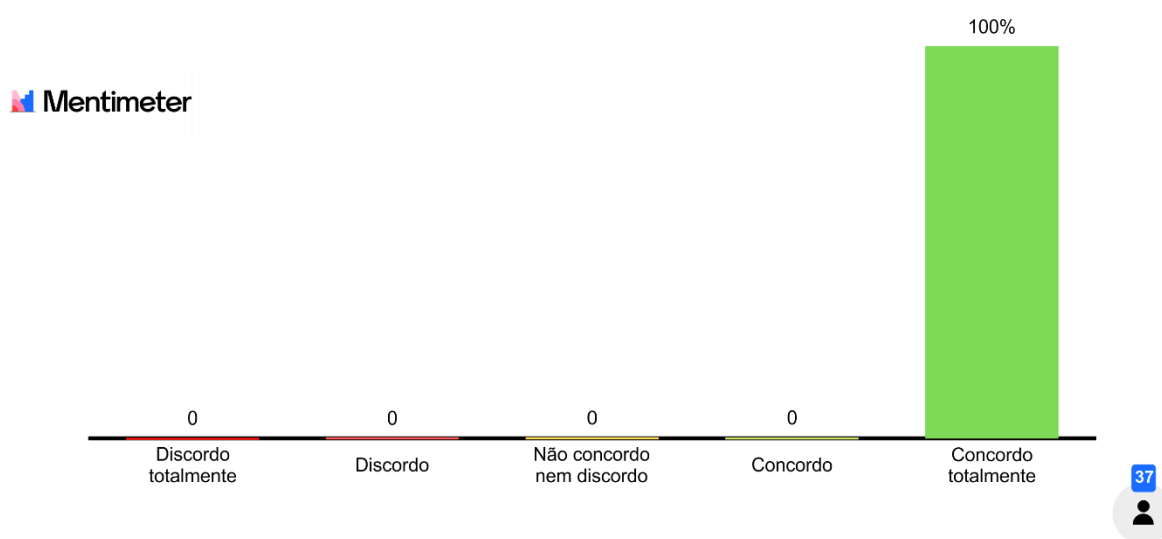


Gráfico 6.6 Importância da construção de anamorfozes para a compreensão da perspetiva

Os alunos referiram, ainda, no grupo focal, que a compreensão do mecanismo que os artistas de rua utilizam para criar as suas obras os motivou para a realização dos trabalhos desenvolvidos com aplicação de anamorfozes.

Constatámos ainda que os alunos apontaram as experiências com a RA, a aplicação da luz e da cor na anamorfose do cubo assim como a representação ortográfica em dois planos como as mais interessantes (cf. Gráfico 6.7).

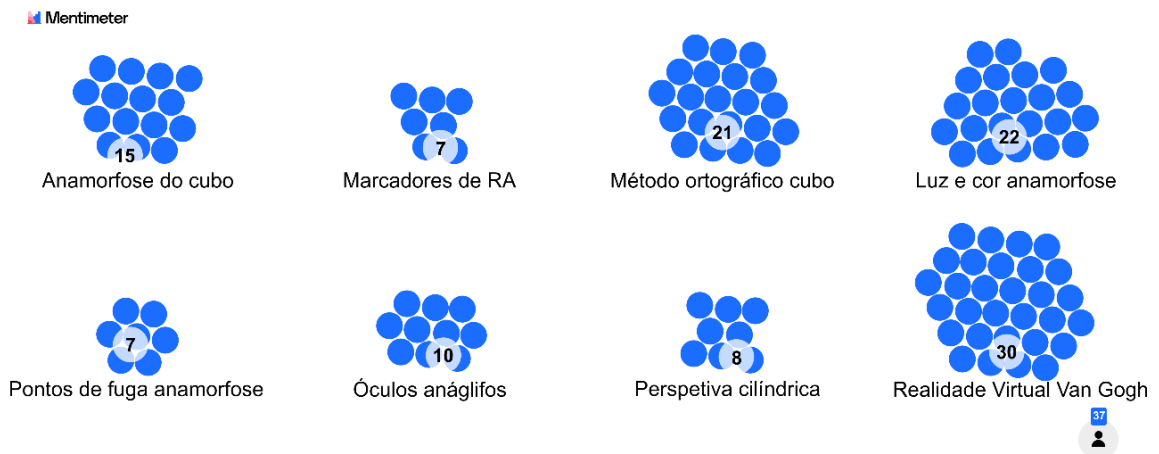


Gráfico 6.7 Atividades preferidas pelos alunos ao longo do 2º e 3º períodos

As preferências dos alunos permitem concluir que a combinação de aplicações de RA com o desenho de perspetiva equirretangular se reveste de um enorme potencial educativo para o estudo da representação tridimensional. Esta atividade possibilitou a construção de artefactos que misturam desenho à mão com aplicações digitais que permitem melhorar a experiência imersiva dos alunos com aplicações de baixo custo.

Verificámos, também, que é possível incluir as perspetivas curvilíneas na planificação das atividades com alunos do 9º ano de escolaridade integradas com os novos dispositivos digitais. Esta experiência de aprendizagem demonstrou ainda que a perspetiva central não é a única linguagem ou expressão justa e verdadeira na representação do espaço tridimensional, nem tão pouco a única e mais adequada para representar a realidade.

Como exemplificámos ao longo deste trabalho, atualmente, a anamorfose encontra relevância estética e artística em diversos contextos. Contudo, para além de preceitos estéticos e procedimentos técnicos, considera-se que a base fundamental da anamorfose está no conceito de perspetiva como uma transformação matemática que permite aos estudantes iniciar a sua experiência na geometria descritiva. Verificámos, aliás, que o

surgimento das técnicas de perspectiva, tanto na perspectiva linear quanto na perspectiva disforme (anamórfica), surgiram no mesmo período, porém cada qual obteve caminhos diversos, conforme a evolução e desenvolvimento da sociedade, assumindo a perspectiva linear protagonismo como modelo de convenção para a representação tridimensional.

Porém, consideramos que a experiência com a representação em perspectiva curvilínea, nomeadamente a equirretangular, permitiu a (re)criação de ambientes imersivos traduzidos em artefactos inovadores que combinam desenho à mão com aplicações de RA. Os testemunhos dos alunos são elucidativos a este respeito:

“Esta experiência foi muito importante para mim. Este desenho imersivo 360° permite desenhar todo o espaço ao mesmo tempo, mostrando um lugar da maneira mais real possível, por isso, passa a sensação de que estamos mesmo nesse lugar.”
(Luísa)

“... porque possibilita que as pessoas possam conhecer lugares aos quais talvez nunca tivessem acesso, a não ser através deste ambiente.” (João)

6.2.3 *Motivação e empenho*

Globalmente, consideramos que a realização desta experiência influenciou positivamente a motivação dos alunos para o estudo da representação tridimensional. É de sublinhar a adesão, a motivação, a confiança e a facilidade com que os alunos realizaram os exercícios de representação tridimensional, incluindo os alunos com medidas adicionais de suporte à aprendizagem e à inclusão.

Concluimos também que a RA apresenta um grande potencial, quer em termos de motivação dos alunos, quer em termos de compreensão dos conteúdos relacionados com o estudo da geometria. De resto, a representação técnica dos objetos foi dos conteúdos que os alunos mais apreciaram, tendo demonstrado ainda mais empenho e autonomia para realizar as tarefas propostas.

Por outro lado, a observação realizada sobre os trabalhos desenvolvidos permite concluir que a motivação dos alunos foi evidente quando utilizavam ferramentas digitais, o que se traduziu num empenho constante na realização das tarefas. Também constatámos que, em boa medida, as anamorfozes (com o efeito visual surpreendente que provoca) motivaram os alunos para a aprendizagem da perspetiva.

A implementação deste itinerário formativo permite concluir, ainda, que a utilização de artefactos digitais associados a aplicações de RA e de RV motivaram os alunos para a aprendizagem dos conteúdos da disciplina de Educação Visual, traduzindo-se em elevados níveis de participação e empenho na realização das tarefas.

No que diz respeito à influência desta experiência na motivação dos alunos para o estudo da geometria, a totalidade dos alunos revelou que passaram a encarar de outra forma os exercícios de geometria. Podemos, também, referir que, no âmbito da avaliação dos trabalhos realizada na disciplina de Educação Visual, os alunos desenvolveram a sua capacidade de representação tridimensional bem como a capacidade de visualização espacial e de representação técnica dos objetos. A avaliação das aprendizagens foi baseada nos critérios: Domínio da técnica; Alargamento de conceitos e atitude crítica; Utilização expressiva da técnica; Rigor e clareza; Organização; Criatividade; Expressão não condicionada; Interesse, participação e colaboração; Respeito pelas normas e, ainda, Responsabilidade e autonomia. Os resultados foram muito positivos sendo visíveis na qualidade dos trabalhos escolares e ao longo do desenvolvimento do itinerário formativo, demonstrando, por um lado, a consolidação de conhecimentos adquiridos e, por outro, a exploração de novas experiências de aprendizagem.

6.2.4 Colaboração e autorregulação das aprendizagens

Com o decorrer do ano letivo foi evidente o crescente grau de autonomia revelado pelos alunos que se traduziu na livre escolha dos temas para os seus projetos artísticos, desenvolvidos ao longo do 3º período, assim como na constituição dos grupos de trabalho com interesses comuns. Nesta investigação, a generalidade dos estudantes, cerca de 85%,

afirmaram que o trabalho em grupo foi favorável à aprendizagem, apontando como principal fator a importância do trabalho colaborativo e cooperativo.

A utilização da RA motivou também os alunos para construir o próprio conhecimento, na medida em que cada um produziu uma peça em desenho 3D digital que exportou para a plataforma *Augment*. Esta possibilidade tecnológica transformou-se numa poderosa ferramenta de aprendizagem que se traduziu numa estratégia de pertença do conhecimento e dos segredos que a cada aluno lhe conferia ser o oráculo quando os outros alunos tentavam representar a sua peça.

Enquanto interface que facilita a interação de aluno com o conhecimento abstrato, a RA confere um potencial significativo para o processo de ensino-aprendizagem, bem como para o processo de avaliação e de autorregulação das aprendizagens.

Assim, a RA permitiu despertar o interesse de alguns alunos para a escultura digital, que desenvolveram nos seus projetos artísticos, tendo permitido encontrar conexões interdisciplinares facilitando a aprendizagem para além das fronteiras do currículo prescrito. Referimo-nos concretamente ao projeto artístico da construção do memorial da 1ª Grande Guerra Mundial realizado por um grupo de alunos.

Ao longo da implementação do itinerário verificámos que os alunos demonstraram autonomia na realização das tarefas e valorizaram o processo de co-construção e partilha de conhecimento, mas também as aprendizagens realizadas colaborativamente e o entusiasmo na descoberta do conhecimento e na realização dos trabalhos.

“Achei uma aula incrível e aprendi muito... Foi super-interessante e acho que deveríamos ter mais aulas assim, hoje consegui fazer tudo sozinho”. (Diogo)

Capítulo 7 – CONCLUSÃO

Neste capítulo apresentamos as principais conclusões e implicações desta investigação, decorrentes da reflexão e discussão dos resultados obtidos considerando o referencial teórico construído para o efeito. Este trabalho pretendeu responder a três questões centrais que presidiram a todo o processo de investigação e que foram formuladas no plano inicial.

Relembramos a primeira questão de investigação: Que relação poderá ser estabelecida entre os princípios fundadores da perspectiva dos séculos XV a XVII e as possibilidades atuais da RA? Procurámos encontrar resposta a esta questão desenvolvendo, no capítulo terceiro, uma análise exaustiva sobre os principais contributos teóricos e práticos fundadores da perspectiva linear tal como a conhecemos atualmente, designadamente *la tavoletta* e a “*dolce prospettiva*” de Filippo Brunelleschi; a *piramide visiva* de Leon Battista Alberti; a *prospettiva pingendi* de Piero della Francesca; os contributos do *Trattato della Pittura* de Leonardo da Vinci; o *Perspetógrafo* de Albrecht Dürer; “*aberrações marginais*” de Hans Holbein, o jovem; os contributos do tratado *Perspectiva corporum regularium* de Wenzel Jamnitzer; a *prospettiva prática* de Giacomo Vignola; os ensinamentos do *Trattato della Prospettiva Pratica* de Cigoli (Ludovico Cardi); a “*perspective curieuse*” de Jean-François Niceron; os contributos do tratado *Perspectiva pictorum et architectorum*, bem como as pinturas de Andrea Pozzo e, ainda, as reflexões teóricas do obra *New Principles of Linear Perspective* de Brook Taylor. Concluímos que a teoria e a prática da perspectiva desenvolvida nos diversos estudos e tratados conduziu à sua utilização recorrente, sobretudo nos séculos XVI-XVII, tendo resultado em magnificas criações artísticas, nomeadamente em representações ilusórias sobre paredes e tetos, tendo levado a mudanças profundas nas representações pictóricas. No entanto, abriu, também, um campo teórico reclamado por artistas e matemáticos, onde se procura estabelecer os pressupostos geométricos para uma representação fidedigna da realidade, traduzida na habilidade de representar a tridimensionalidade no plano bidimensional. Assim, a representação da terceira dimensão com recurso às técnicas da perspectiva e da anamorfose assume uma expressão hegemónica na representação pictórica e arquitetónica, particularmente na representação do espaço ilusório. Esta técnica de representação permitiu a criação de *trompe l'oeil*,

através da aplicação de conceitos e operações de desenho geométrico, sobretudo no período Barroco por Andre Pozzo, tendo resultado na monumentalidade sugerida pela escala de representação, onde sugere o efeito de uma realidade alternativa. As atividades desenvolvidas ao longo deste projeto permitem sublinhar a importância da anamorfose enquanto aplicação fundamental da perspectiva, amplamente explorada por Andrea Pozzo, nomeadamente, no teto da Igreja de Santo Inácio, em Roma, e relacioná-la com as possibilidades atuais da tecnologia de RA.

A RA materializa-se na sobreposição de elementos virtuais gerados por computador sobre objetos reais no campo de visão do utilizador como se aparecessem no mundo real. Também Andrea Pozzo, nas *trompe l'oeil* da Igreja de Sant'Ignazio, combina elementos de arquitetura com a pintura ilusória para conceber um ambiente virtual ou de realidade mista. Com as devidas salvaguardas, tendo em conta os contextos históricos e tecnológicos, sugerimos um paralelo na criação de experiências de Realidade Mista por comparação às atuais tecnologias de Realidade Virtual e Realidade Aumentada, que permitem combinar imagens de um ambiente real, obtidas por uma câmara digital, com objetos tridimensionais virtuais enriquecendo a experiência do utilizador. Esta possibilidade de relacionar as tecnologias digitais com o estudo da perspectiva induziu-nos a indagar sobre as potencialidades da RA na disciplina de Educação Visual. A RA proporciona ao utilizador uma manipulação combinada de objetos reais com objetos virtuais que tornam a experiência motivadora e contribuem para melhorar a motivação dos alunos, estimulando a aprendizagem e ampliando a compreensão dos conceitos básicos de geometria.

Para responder à segunda questão de investigação: Quais as potencialidades da utilização das aplicações de RA para o estudo dos sistemas de representação no ensino básico?, indagámos sobre a tecnologia inerente ao desenvolvimento de aplicações de RA e as suas potencialidades. A RA, considerada uma tecnologia emergente, tem sido adaptada a diversas áreas do conhecimento, mormente na medicina, na psicologia, na robótica, na arquitetura, bem como no campo da educação.

Sendo a RA uma variação da RV dedicámos um capítulo deste trabalho às potencialidades das tecnologias digitais, designadamente, a criação de realidades imersivas através de

experiências de integração e imersão no universo virtual. A tecnologia de RV permite gerar a simulação de um mundo ou ambiente alternativo que assenta, sobretudo, no desenvolvimento da tecnologia digital e na interface homem-máquina que deve ser imersiva, interativa, intuitiva, em tempo real, multissensorial, e tridimensional, centrada no espectador.

Na componente empírica deste trabalho de investigação implementámos experiências de utilização de modelos 3D digitais e de RA, na disciplina de Educação Visual do 3º ciclo do ensino básico no estudo do Método de Monge e da tripla projeção ortogonal. Os resultados são promissores, uma vez que os alunos demonstraram facilidade na utilização desta tecnologia, tendo potenciado a sua motivação, capacidade de iniciativa e, fundamentalmente, o exercício da autonomia no desenvolvimento dos trabalhos. Acresce, ainda, a melhoria da sua capacidade de visualização espacial que registámos no decurso da experiência. É ainda de destacar que a integração dos dispositivos móveis, designadamente *smartphones* e/ou *tablets*, no contexto da sala de aula, ajudou a promover processos de (co)construção de conhecimento, de partilha de experiências de aprendizagem, contribuindo para potenciar uma dimensão mais formativa da avaliação e a autorregulação das aprendizagens.

A terceira questão investigativa incidia no seguinte: Será possível reabilitar o perspetógrafo de Dürer para o estudo da geometria no 3º ciclo do ensino básico? Para responder a esta questão materializámos os procedimentos do mecanismo de Albrecht Dürer (em “o desenhador e o alauúde”) integrados numa metodologia de representação do desenho no plano para auxiliar nas construções das representações anamórficas. Com este procedimento, os alunos puderam verificar que esta forma de representar, enviando raios visuais identificados com um fio de algodão dirigidos desde os olhos passando através de pontos estratégicos do objeto a representar até ao plano de representação, permite construir imagens em anamorfose. A identificação do ponto exato do observador para a correta perceção da anamorfose serviu também como marcador para aplicações de RA que permitem (re)construir cenários de realidade combinada com integração de objetos virtuais e anamorfozes em ambiente real.

Sustentamos, ainda, que a combinação do conceito de anamorfose imersiva, materializado pela máquina adaptada de Dürer, pode ser abstraído em exercícios de geometria descritiva, integrando tecnologias de RA e RM. Esta combinação oferece um elevado potencial pedagógico, quer em termos de motivação dos alunos, quer na compreensão de conteúdos relacionados com o estudo da perspetiva. Também vale a pena mencionar a sua utilização no desenvolvimento da capacidade de visualização espacial dos alunos do 3º ciclo do ensino básico, promovendo uma melhor compreensão dos conceitos relacionados com o ensino da geometria.

Atualmente, a representação do mundo real é efetuada, frequentemente, por máquinas de desenhar, de fotografar ou de vídeo, mas também através da recente tecnologia de RV, que são projetadas de tal forma que possam reproduzir os efeitos obtidos pela perspetiva. Esta semelhança deve-se às características comuns entre esses dispositivos e as regras da perspetiva linear, nomeadamente, a noção de cone visual, a visão monocular e a projeção num plano. Defendemos, portanto, que as tecnologias digitais oferecem atualmente potencialidades pedagógicas facilmente integráveis nos processos de ensino-aprendizagem, nomeadamente, para o estudo da perspetiva no 3º ciclo do ensino básico. De um modo particular os sistemas de RA permitem sobrepor elementos virtuais gerados por computador sobre objetos reais no campo de visão do utilizador como se aparecessem no mundo real. Assim, permitem combinar imagens de um ambiente real, obtidas por uma câmara digital, com objetos tridimensionais virtuais enriquecendo a experiência do utilizador.

Neste estudo definimos também um conjunto de objetivos que ajudaram a concretizar os propósitos desta investigação. O primeiro propunha “Desenvolver artefactos em RA que permitam visualizar diagramas em anamorfose”. Com a conceção e desenvolvimento do itinerário formativo verificámos que existem variadíssimas aplicações para *smartphone* e/ou *tablet* disponibilizadas gratuitamente que servem estes propósitos (*HP Reveal, Augment...*). Com base nestas aplicações desenvolvemos uma estratégia para o estudo das projeções ortogonais procurando, simultaneamente, explorar do ponto de vista estético composições que incluíam desenho analógico, anamorfozes e desenho digital 3D. Os

artefactos digitais criados, conjugados com a exploração do dispositivo “o desenhador e o alaúde” de Albrecht Dürer, permitiram clarificar a noção de cone visual, bem como o conceito de oclusão radial fundamentais para a compreensão da relação entre as anamorfozes e RA. Deste modo, o perspetógrafo de Dürer permitiu demonstrar que dois ou mais pontos são anamorficamente equivalentes quando estão no mesmo raio visual. Este facto permite agilizar este dispositivo num movimento para frente e para trás, permitindo obter uma “perspetiva” no plano vertical e/ou uma “anamorfose oblíqua” no plano horizontal. É importante sublinhar que as atividades de construção da anamorfose tiveram uma forte influência na motivação dos alunos para o estudo da representação tridimensional. A anamorfose construída pelos alunos (cubo de grandes dimensões) permitiu realizar uma interação, não condicionada, através da exploração na sua dimensão performativa. Os alunos usaram a anamorfose como marcador de RA e exploraram, de uma forma lúdica e intuitiva, os princípios da perspetiva cónica, tendo ainda permitido valorizar e interpretar as imagens surpreendentes que continuam a despertar interesse nas artes plásticas da atualidade, nomeadamente, na *street art* com os *new anamorphic graffiti artworks*.

A abordagem de anamorfose imersiva ajudou a superar dificuldades comuns no ensino da representação gráfica e a reconhecer a importância na identificação do ponto de vista do observador e dos pontos de fuga no estudo da perspetiva. Para este caso, as aplicações de RA revelaram-se úteis para visualizar o desaparecimento de paralelas em direção aos seus pares de pontos de fuga. Referimo-nos concretamente a um artefacto que projetámos e desenvolvemos em RA que permite evidenciar as linhas de fuga da anamorfose de um cubo, remetendo para uma definição imersiva dos pontos de fuga, definidos como o fechamento topológico de projeções cónicas. Por outras palavras, existe, na anamorfose esférica, uma noção de ponto de fuga em que cada linha possui dois pontos de fuga diametralmente opostos na esfera visual.

É de referir que esta visão dos pontos de fuga anamórficos, embora não *standard* (já que não está incluída nos *curricula* oficiais – prescritos centralmente), não conflitua com a visão exigida por esses currículos que se centram na perspetiva linear. Por conseguinte, não se

reduz a esta no caso especial onde a superfície da projeção é plana, mas proporciona uma definição mais poderosa que leva os alunos, de forma eficiente e progressiva, a enfrentar problemas não apenas em anamorfose e perspectiva clássicas, mas também nas perspectivas curvilíneas, onde os pontos de fuga duplos são necessários (por exemplo nas perspectivas cilíndrica e equirretangular). O número surpreendente e a complexidade dos conceitos adquiridos, assim como, o modo confiante como foram apropriados pelos alunos demonstram a natureza promissora desta abordagem para o estudo da geometria na disciplina de Educação Visual no terceiro ciclo do ensino básico. Tal manifesta-se no modo como a “máquina da anamorfose” de Dürer motivou os alunos para o uso entusiástico da geometria descritiva básica na procura no objetivo atraente da ilusão ótica. Algo relevante quando sabemos que a geometria descritiva é uma disciplina que causa alguma relutância aos alunos, que frequentemente manifestam dificuldades em lidar com a abstração e visualização espacial que são necessárias para resolver alguns exercícios de geometria.

Para concretizar o segundo objetivo, “Projetar aplicações em RA para a abordagem dos conceitos básicos da perspectiva”, concebemos um modelo de experiência de aprendizagem que previa a utilização de artefactos digitais em RA para o estudo das projeções ortogonais. Estes artefactos permitem a manipulação de objetos (peças ou modelos para desenho técnico) em formato digital. Estes objetos didáticos foram importantes para a compreensão dos conceitos de representação técnica dos objetos, que não deixava os alunos condicionados aos modelos em madeira ou às representações dos objetos em perspectivas rápidas.

Por outro lado, explorou-se a construção ortográfica de um cubo em anamorfose onde foi possível identificar conceitos básicos e os procedimentos da geometria descritiva traduzidos na determinação de uma forma planificada utilizando uma vista superior e uma vista lateral. Neste caso, as aplicações digitais de RA potenciaram a visualização 3D dos objetos combinados com as representações em anamorfose.

No que diz respeito ao terceiro objetivo, “Desenvolver um itinerário formativo para o desenho de anamorfoses integrado no programa de Educação Visual do 3º ciclo de escolaridade”, concebemos um conjunto de experiências de aprendizagem que integram a

utilização de tecnologia digital, aplicações de RA, RV e Anamorfozes que foram aplicadas a um conjunto de trinta e sete alunos do nono ano de escolaridade. O itinerário formativo incluiu, para além de vários artefactos digitais, a descrição de uma série de estratégias didáticas para a sua implementação e exploração pedagógica.

No âmbito do quarto objetivo “Identificar potencialidades e constrangimentos na implementação do itinerário formativo”, os dados recolhidos permitem concluir que este itinerário formativo encerra um conjunto de potencialidades pedagógicas. Os resultados sugerem que os desafios da RA, quando usada de forma colaborativa em ambientes virtuais e experiências imersivas, proporcionam ganhos em termos motivacionais dos alunos. A utilização de aplicações de RA foi determinante para o desenvolvimento da capacidade de visualização espacial dos alunos e facilitou a compreensão dos conceitos relativos ao ensino da geometria projetiva, de um modo particular na abordagem às projeções ortogonais. Por outro lado, o conceito de anamorfose que assume valor simbólico na obra de arte, pelo seu efeito efêmero e flexível, remete para um ambiente semelhante proposto pelas aplicações de RA. O estudo implicou também benefícios no estudo da luz e sombra, nomeadamente no que respeita à distinção entre sombras projetadas e sombras de formas, na perceção e medição cuidadosa do valor da sombra/intensidade da luz (para uma ilusão de ótica convincente), assim como a relevância na melhoria da perceção da tridimensionalidade. Para além da capacidade da memória disponível nos equipamentos dos alunos, foram as circunstâncias contextuais os maiores constrangimentos encontrados na aplicação deste itinerário formativo, designadamente, os relacionados com o fator tempo curricular disponível.

Formulámos ainda um quinto objetivo que consistia em “Compreender as perceções e as experiências de aprendizagem dos alunos ao longo do itinerário formativo”. Os resultados evidenciam que esta experiência pedagógica estimulou, também, a interação social e colaborativa dos alunos, designadamente, através da partilha e entajuda na construção de percursos escolares coletivos que respeitam a individualidade de cada um dos alunos. Permitiu ainda explorar as oportunidades da utilização da RA para criar experiências de aprendizagem significativas. A utilização desta tecnologia facilitou a compreensão dos

conteúdos e melhorou a capacidade de visualização dos objetos tridimensionais virtuais, na medida em que permitiu observar o objeto geométrico em diversas perspetivas. Por outro lado, os alunos foram mais ativos no seu processo de aprendizagem ao criarem os próprios materiais pedagógicos. As opiniões recolhidas junto dos alunos foram todas de agrado relativamente às experiências de aprendizagem constantes neste itinerário formativo. Em boa medida, a experiência digital proposta neste itinerário influenciou positivamente a aprendizagem dos alunos, de forma crítica e criativa, através da capacidade de identificar e resolver problemas técnicos ou mobilizar, de forma crítica, o conhecimento tecnológico para novas situações. As experiências propostas permitiram enfatizar a centralidade do papel dos alunos do processo de ensino e aprendizagem em que estes assumem um papel mais ativo na construção do próprio conhecimento, assim como estimulá-los a desenvolver práticas colaborativas e aumentar as suas “capacidades de autonomia”.

Finalmente, no que diz respeito ao sexto objetivo formulado, “Avaliar o contributo desta abordagem para a compreensão dos conceitos inerentes à construção da perspetiva e ao desenvolvimento da perceção espacial dos alunos”, podemos concluir que os resultados obtidos são compatíveis com a hipótese de considerar as vantagens de usar anamorfose ao invés de perspetiva como o conceito gerador fundamental e a perspetiva como o seu derivado. O que se argumenta neste trabalho justifica-se do ponto de vista histórico, matemático e didático apoiado pelas observações e pelo nosso julgamento ao longo da aplicação do itinerário formativo. Os resultados recolhidos apontam para o facto de a generalidade dos alunos referir que a construção de anamorfozes e a utilização de aplicações de RA influenciaram, decisivamente, a sua compreensão da noção de perspetiva. Sublinhamos também as potencialidades que este itinerário encerra sobretudo no que diz respeito à compreensão do conceito de imersão e a sua relação com a perceção espacial. Neste aspeto particular as perspetivas imersivas obtidas através do desenho à mão sobre uma grelha equirretangular (perspetiva curvilínea) permitiram explorar uma nova (re)configuração da realidade com benefícios evidentes na perceção espacial dos alunos, para a criação artística e para a compreensão do funcionamento das aplicações de realidade virtual/aumentada/mista.

Limitações e constrangimentos do estudo

Os principais constrangimentos decorrentes do desenvolvimento deste estudo prendem-se com questões relacionadas com o contexto em que foi desenvolvida a componente prática deste estudo. Em função da reduzida dimensão da amostra não é possível obter generalizações; no entanto, os resultados obtidos recomendam que este itinerário possa ser replicado em outros contextos educativos, a fim de explorar o seu potencial e solidificar os seus achados.

Por outro lado, este estudo não previa uma dimensão longitudinal, mas a prática revelou a pertinência de incluir a visão dos alunos que seguiram para o ensino secundário. Seria conveniente avaliar o eventual impacto na aprendizagem na disciplina de geometria descritiva dos alunos que participaram neste estudo. Em todo o caso, os resultados obtidos permitem concluir que a realização deste itinerário formativo teve relevância no estudo da geometria e revelou-se adequado na abordagem utilizada no âmbito 3º ciclo do ensino básico, como demonstram os trabalhos realizados pelos alunos, bem como as suas reações recolhidas ao longo deste percurso.

Convém, no entanto, salientar que este estudo, apesar das limitações apontadas, respondeu aos objetivos traçados e permitiu concluir que o uso da RA e da Anamorfose no estudo da geometria na disciplina de Educação Visual é positiva, como se demonstrou nos resultados alcançados.

Trabalho futuro

Em termos de trabalho futuro tencionamos produzir um *kit* didático que possa ser explorado e aplicado por um conjunto mais alargado de professores e alunos, procurando englobar intervenientes de uma área geográfica mais abrangente. De igual modo, pretende-se contemplar o acompanhamento dos alunos que eventualmente venham a prosseguir estudos no ensino secundário no Curso de Artes Visuais para avaliar o impacto da experiência no seu desempenho na disciplina de Geometria Descritiva.

Para além destas recomendações, propomo-nos explorar, numa perspetiva artística, um procedimento de projeção associado a um algoritmo computacional para processar e distorcer imagens através de transformações anamórficas. Seguindo procedimentos de construção geométrica e a realização de anamorfozes, é nossa intenção conceber uma instalação com interesses estéticos para fins de entretenimento, mas sobretudo procurar criar experiências significativas com interesse no âmbito da perspetiva.

REFERÊNCIAS

- Accolti, Pietro. (1625). *Lo inganno degli occhi*: Firenze (free e-book. <http://www.books.google.com>).
- Aires, L. (2011). *Paradigma Qualitativo e práticas de investigação educacional*. Universidade Aberta
- Almeida, J. F., & Pinto, J. M. (1995). *A Investigação nas Ciências Sociais*. Editorial Presença.
- Andersen, K. (1992). Brook Taylor's Role in the History of Linear Perspective. In G.J. Toomer (ed.) *Brook Taylor's Work on Linear Perspective* (pp. 1-67). Springer. https://doi.org/10.1007/978-1-4612-0935-5_1
- Araújo, A. B. (2014). *Anamorfozes e perspectivas curvilíneas*. Ed. Autor. <http://hdl.handle.net/10400.2/4612>
- Araújo, A. B. (2016). Topologia, Anamorfozes, e o bestiário das Perspectivas Curvilíneas. *Convocarte*, 2, 51-69. <http://convocarte.belasartes.ulisboa.pt/index.php/category/httpconvocarte-belasartes-ulisboa-ptrevistaconvocarte/>
- Araújo, A. B. (2017a). Cardboarding Mixed Reality with Dürer Machines. In xCoAx 2017 -5th Conference on Computation, Communication, Aesthetics & X Proceedings, Lisbon, 2017, pp 102-113.
- Araújo, A. B. (2017b). Guidelines for Drawing Immersive Panoramas in Equirectangular Perspective. In *Proceedings of ARTECH2017*, Macau, China, September 06-08, 2017, pp 93-99. <https://doi.org/10.1145/3106548.3106606>
- Araújo, A. B. (2018a). Drawing equirectangular VR panoramas with ruler, compass, and protractor. *Journal of Science and Technology of the Arts*, 10(1), 15-27. <https://doi.org/10.7559/citarj.v10i1.471>
- Araújo, A. B. (2018b). Ruler, compass, and nail: constructing a total spherical perspective. *Journal of Mathematics and the Arts*, 12(2-3), 144–169, <https://doi.org/10.1080/17513472.2018.1469378>
- Araújo, A. B. (2019). Eq A Sketch 360°, a Serious Toy for Drawing Equirectangular Spherical Perspectives. *Proceedings of the 9th International Conference on Digital and Interactive Arts*, 1–8. <https://doi.org/10.1145/3359852.3359893>
- Araújo A. B. (2020a). Anamorphosis Reformed: From Optical Illusions to Immersive Perspectives. In: Sriraman B. (eds) *Handbook of the Mathematics of the Arts and Sciences*. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-319-70658-0_101-1
- Araújo, A. B. (2020b). Explorations in Rational Drawing. *Journal of Mathematics and the Arts*, 14(1-2), 4-7. <https://doi.org/10.1080/17513472.2020.1734437>
- Araújo, A. B. (2021). Spherical Perspective. In: Sriraman, B. (eds) *Handbook of the Mathematics of the Arts and Sciences*. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-319-57072-3_100
- Araújo, A. B., Olivero, L. F., & Antinozzi, S. (2019). HIMmaterial: Exploring new hybrid media for immersive drawing and collage. In *Proceedings of the 9th International Conference on Digital and Interactive Arts*, 1–4. <https://doi.org/10.1145/3359852.3359950>
- Araújo, A. B., Olivero, L. F., & Rossi, A. (2020). A Descriptive Geometry Construction of VR panoramas in Cubical Spherical Perspective. *Diségno*, 6, 35–46. <https://doi.org/10.26375/disegno.6.2020.06>
- Azuma, Ronald. (1997). A Survey of Augmented Reality. *Presence* 6(4), 355–85.

- Baglioni, L., & Salvatore, M. (2019). Dissemination Models for Communication of Cultural Heritage: 'di sotto in su' Perspective Domes in Andrea Pozzo's Work. *Disegno* 1(4), 127–138. <https://doi.org/10.26375/disegno.4.2019.13>
- Balkemore, C. (1986). *Os Mecanismos da Mente*. Lisboa: Editorial Presença.
- Baltrušaitis, J. (1976). *Anamorphic Art*. Harry N. Abrams.
- Baltrušaitis, J. (1984). *Les Perspectives Dépravées: Anamorphoses*. Paris: Ed. Flammarion.
- Baltrušaitis, J. (1969). Anamorfosi o magia artificiale degli effetti meravigliosi. In: Bertolucci, P., Milano Adelphi.
- Barbaro D. (1568). *La Pratica Della Perspettiva Di Monsignor Daniel Barbaro Eletto Patriarca D'Aquileia, opera molto profitteuole a' pittori, scultori, et architetti*. Appresso Camillo & Rutilio Borgominieri fratelli.
- Bardin, L. (2009). *Análise de conteúdo*. Edições 70.
- Barone, T., & Eisner, E. (2012). *Arts based research*. Sage Publications.
- Barre A. & Flocon A. (1968). *La Perspective Curviligne*. Flammarion, Paris.
- Beever, Julian (2018). *Pavement Chalk Artist. The Three-Dimensional Drawings of Julian Beever*. Firefly Book.
- Billinghurst, Mark & Kato, Hirokazu. (2003). Collaborative Augmented Reality. *Communications of the ACM*. 45. 10.1145/514236.514265.
- Billinghurst, Mark & Duenser, Andreas. (2012). Augmented Reality in the Classroom. *Computer*. 45. 56-63. 10.1109/MC.2012.111.
- Bisquerra, R. (1989). *Métodos de investigación educativa: Guía práctica*. Ediciones CEAC.
- Bonbon, B.S. (1985). *La Geometrie Spherique Tridimensionnelle*. Éditions Eyrolles, Paris.
- Booth, S. E., & Helden, A. V. (2008). The Virgin and the Telescope: The Moons of Cigoli and Galileo. *Science in Context*, 13 (3-4), Autumn-Winter 2000, 463-486. <https://doi.org/10.1017/S0269889700003872>
- Bosse, A. (1647). *Les Perspectiveurs*. Pierre de Hayes.
- Brewster, D. (1971). *The stereoscope: Its history, theory, and construction: With its application to the fine and useful arts and to education*. Hastings-on-Hudson, N.Y., Morgan & Morgan.
- Brod, G. A., Borda, A., Piedras, E.M.R., & Vasconcellos, L. (2010). Espaço digital para experimentos de anamorfose: um estímulo ao processo criativo em arquitetura, artes e design. In: XIX Congresso de Iniciação Científica e XII Encontro de Pós-graduação da UFPEL, 2010, Pelotas. XIX CIC e XII ENPOS UFPEL. Pelotas: PRPPG/UFPEL. <http://guaiaca.ufpel.edu.br/handle/123456789/672>
- Brown, A. L. (1992). Design experiments: theoretical and methodological challenges in creating complex interventions in classroom settings. *Journal of the Learning Sciences*, 2(2), 141–178.
- Bryman, A. (2012). *Social Research Methods* (4th ed.). Oxford University Press.
- Burton, H. E. (1945). The optics of Euclid. In *Journal of the Optical Society of America*, 35 (5), pp. 357-372.
- Cabezas-Bernal, P. (2014). *Imágenes esteresoscópicas aplicadas a la representación arquitectónica*. [Tesis Doctoral, Universidade Politècnica de Valencia].
- Camerota, F. (2006). *La prospettiva del Rinascimento Arte, architettura, scienza*. Mondadori Electa spa.

- Camerota, F. (2013). Il prospettografo del Cigoli tra pratica dell'arte e collezionismo scientifico. *Paragone-Arte*, LXIV, 108, 3-17.
- Camerota, F. 2010. *Linear Perspective in the Age of Galileo. Ludovico Cigoli's Prospettiva Pratica*. Leo S. Olschki Editore.
- Canotilho, L. (2005). *Perspectiva pictórica*. Edição: Instituto Politécnico de Bragança.
- Casalderrey, M. (2010). Arte con ojos matemáticos: Los Embajadores, dos cuadros en una misma tabla. *Suma: Revista sobre Enseñanza y Aprendizaje de las Matemáticas*, 66, 69-74.
- Casas, F. R. (1983). Flat-Sphere Perspective. *Leonardo*, 16(1), 1–9.
<https://doi.org/10.2307/1575034>
- Castro, N. (2016). *Desenvolvimento de uma Ferramenta de Apoio ao Ensino de Desenho Técnico Básico*. Porto: Universidade do Porto (Dissertação de Mestrado).
- Coelho, J. (2015). *Arquiteturas Imaginárias. Espaço real e ilusório no Barroco português*. [Tese de doutoramento, Universidade do Minho].
- Collins, A. (1990). *Toward a design science of education (Report No. 1)*. Center for Technology in Education.
- Collins, D. (1992). Anamorphosis and the Eccentric Observer: History, Technique and Current Practice. *Leonardo Journal*, 25(2), 179-187. <https://doi.org/10.2307/1575710>
- Colom, A. J., (1993). Escuela y currículum. In A.J. Colom, J. C. Castillejo, G. Vásquez & J. Sarramona (orgs.), *Teoría de la Educación* (pp. 83-128). Taurus Ediciones.
- Comar, P. (1992). *La perspective em jeu. Les dessous de l'image*. Découvertes Gallimard-Sciences. Gallimard.
- Correia, J.V. (2015). *Perspectiva Linear Paramétrica. Um Sistema Híbrido de Representação Perspética, Aplicável à Arquitetura*. (Tese de Doutoramento).
- Correia, J.V. et al. (2013). A New Extended Perspective System for Architectural Drawings. In: Zhang, J., Sun, C. (eds) *Global Design and Local Materialization. CAAD Futures 2013. Communications in Computer and Information Science*, vol 369. Springer, Berlin, Heidelberg. https://doi.org/10.1007/978-3-642-38974-0_6
- Costa, M. (1992). *Perspectiva e arquitetura. Uma expressão da inteligência no trabalho de concepção*. Lisboa: Universidade Técnica de Lisboa, Faculdade de Arquitetura (Tese de Doutoramento).
- Cotterell, B. (2018). *Physics and Culture*. University of Sydney: Word Scientific.
- Coutinho, C. (2011). *Metodologia de Investigação em Ciências Sociais e Humanas: Teoria e Prática*. Almedina.
- Coutinho, C., Sousa, A., Dias, A., Bessa, A., Ferreira, M. J. & Vieira, S. (2009). Investigação-Ação: Metodologia Preferencial nas Práticas Educativas. *Revista Psicologia, Educação e Cultura*, vol. XIII, 2, 455-479.
- Danti, E. (1583). *Le due Regole della Prospettiva Pratica di M. Jacomo Barozzi da Vignola* (que inclui a perspectiva de Vignolla). Francesco Zannetti.
- De Landsheere, V. (1992). *L'éducation et la formation*. PUF.
- De Rosa, A. (2016). Jean François Nicéron: Perspective and Artificial Magic. *Transactions* 45(2), 215-226. <https://doi.org/10.5937/fmet1702215D>
- De Rosa, A. & Bortot, A. (2019). "Anamorphosis: Between Perspective and Catoptrics," in *Handbook of the Mathematics of the Arts and Sciences*, B. Sriraman, Ed. Cham: Springer International Publishing, pp. 1–47. doi: 10.1007/978-3-319-70658-0_38-1.

- Della Francesca, P. (1942). *De prospectiva pingendi*. Florencia: G.N. Fasola.
- Di Paola, F., Pedone, P., Inzerillo, L. & Santagati, C. (2014). Anamorphic Projection: Analogical/Digital Algorithms. *Nexus Netw J* (2015) 17:253–285. DOI 10.1007/s00004-014-0225-5.
- Dias, B. (2013). Preliminares: A/r/tografia como Metodologia e Pedagogia em Artes. In B. Dias & R. Irwin, *Pesquisa educacional Baseada em Arte: A/r/tografia* (pp. 21-28). UFSM.
- Ducos du Hauron, L. (1869). A New Heliochromic Process. *13*, 319-320.
- Ducos du Hauron, Louis (1869). Les Couleurs en Photographie: Solution du Probleme. *Le Gers* (Mar. 11, 13, 16, 18, 20, 23, April 1, 6).
- Eco, U. (2004). *História da Beleza*. Difel.
- Eisner, E. (1979). *The educational imagination. On the designs and evaluation of school programs*. MacMillan Pub. Inc.
- Eisner, E. (1994). *La investigación-acción en educación* (2ªed). Morata.
- Eisner, E. (2005). *El cambio educativo desde la investigación-acción*, (4ªed). Morata.
- Ernest, B. (1991). *O espelho mágico de M. C. Escher*. Tradução de Maria Odelte Gonçalves Koller. Taschen.
- Esteves, M. (2006). Análise de conteúdo. In J. Á. Lima & J. A. Pacheco (Orgs.), *Fazer investigação* (pp. 105-126). Porto Editora.
- Estrela, A. (1994). *Teoria e Prática de Observação de Classes: Uma Estratégia de Formação de Professores* (4.ª ed.). Porto Editora.
- Feiner, S., MacIntyre, B., Höllerer, T. et al. (1997). A touring machine: Prototyping 3D mobile augmented reality systems for exploring the urban environment. *Personal Technologies 1*, 208–217. <https://doi.org/10.1007/BF01682023>
- Ferreira, H. (2016). Entre a realidade e o engano: as anamorfoses na comunicação visual. *Visualidades*, 14(1). <https://doi.org/10.5216/vis.v14i1.33969>
- Figueiredo, A. (2007). *Realidade Virtual no Ensino e na Aprendizagem de Geometria Descritiva*. [Dissertação de Mestrado, University of Manchester, Instituto Superior de Tecnologia e Gestão do Instituto Politécnico da Guarda].
- Figueiredo, M., Amado, N., Bidarra, J., & Carreira, S. (2015). A realidade aumentada na aprendizagem da matemática no ensino secundário. In *Conferência Internacional do Espaço Matemático em Língua Portuguesa: CIEMeL* (pp. 1-5).
- Figueiredo, M.; Godejord, B.; Rodrigues, J. & González-Pérez, A. (2016). *Milage APP – Mobile Learning Of Mathematics*. In *EDULEARN16 Proceedings* (pp. 8863-8872).
- Flocon, A. & Taton, R. (1970). *La Perspective*. Presses Universitaires de France, 2ª edição.
- Flores, M., Araújo, A. (2021). Applications of anamorphosis and mixed reality in a classroom setting. In *Proceedings of the 10th International Conference on Digital and Interactive Arts (ARTECH2021)*. October 13–15, 2021, Aveiro, Portugal. ACM, New York, NY, USA. <https://doi.org/10.1145/3483529.3483532>
- Flores, M., Araújo, A., & Figueiredo, M. (2017). Anamorfoses e outras tecnologias imersivas no contexto da educação artística. In *II Colóquio Desafios Curriculares e Pedagógicos na Formação de Professores*. Braga: UM-IE-CIEC, pp. 243-250.
- Flores, M., Araújo, A., & Figueiredo, M. (2021). O Contributo Das Tecnologias Imersivas Para O Estudo Da Perspetiva Na Disciplina De Educação Visual: Um Projeto Com Alunos Do 9.º Ano. In *Challenges 2021: XII Conferência Internacional de Tecnologias de Informação e Comunicação Na Educação*. Braga, Portugal.

- Flores, M. A. & Flores, M. (1998). O Professor Agente de Inovação Curricular. In José Augusto Pacheco, João Menelau Peraskeva e Ana Maria Silva (orgs.), *Reflexão e Inovação Curricular. Atas do III Colóquio sobre Questões Curriculares*. Braga: IEP/Universidade do Minho, pp.79-99.
- Flores, M. A. & Flores, M. (2000). Do Currículo Uniforme à Flexibilização Curricular: algumas reflexões. In José Augusto Pacheco, José Carlos Morgado e Isabel Carvalho Viana (orgs.), *Políticas Curriculares: Caminhos de Flexibilização e Integração. Atas do IV Colóquio sobre Questões Curriculares*. Braga: IEP/Universidade do Minho, pp.83-92.
- Florini, L. (2015). *The Onlife Manifesto*. Springer Nature
- Fuentes Lázaro, S. (2016). *Usos y aplicaciones del tratado de Andrea Pozzo, perspectiva pictorum architectorum (Roma 1693-1700) en España: docencia científica y práctica artística en la primera mitad del siglo XVIII*. [Tesis Doctoral, Universidad Complutense de Madrid].
- Gardner, M., The curious magic of anamorphic art. *Scientific American*, 110–116, January (1975).CrossRefGoogle Scholar
- Gil, A. C. (2008). *Métodos e Técnicas de Pesquisa Social* (6.ª ed.). Atlas.
- Gimeno Sacristán, J. (1988). *El curriculum: una reflexión sobre la práctica*. Morata.
- Gimeno Sacristán, J., Pérez Gomez, A. (1998). *Comprender e transformar o ensino*. (4.ª ed.). Artes Médicas.
- Gonçalves, R. M., Fróis, J. P. & Marques, Elisa (2011). Primeiro Olhar, Programa Integrado de Artes Visuais: Caderno do Professor. (2ª ed). Lisboa: Fundação Calouste de Gulbenkian.
- Grau, O. (1999). “Into the Belly of the Image: Historical Aspects of Virtual Reality,” *Leonardo*, vol. 32, no. 5, pp. 365–371, doi: 10.1162/002409499553587.
- Grau, O. (2003). *Virtual Art: from illusion to immersion*. MIT press.
- Grundy, S. (1987). *Curriculum: product or praxis*. London: The Falmer Press.
- Harari, Y. N. (2018). *21 Lições para o Século XXI*. Companhia das Letras.
- Henry, K. (2012). *Drawing for Product Designers*. Laurence King.
- Holmes, B., & Mclean, M. (1992). *The curriculum: a comparative perspective* (2ª ed.). Routledge.
- Holmes, O. W. (1859). A estereoscopia a estereografia. *Revista de Comunicação e Linguagens*, 39. Fotografia(s), Relógio d’Água, 2008.
- Hubel, D. H. & Wiesel, T. N. (1979). Brain mechanisms of vision. In *The brain, a scientific american book* (pp. 84-97). Freeman and Company.
- Irwin, R. L. (2004). A/r/tography: A metonymic métissage. In Rita L. Irwin & A. de Cosson (Eds.), *Artography rendering self through art-based living inquiry* (pp. 27-40).
- Johnson, M. (1967). Definições e modelos na teoria do currículo. In R. Messick et al. (org.), *Currículo: análise e debate* (2ª ed., pp. 13-32). Zahar.
- Kalawsky, R. S. (1993). *The Science of Virtual Reality and Virtual Environments*. Addison-Wesley Reading.
- Kemmis, S., & Mctaggart, R. (1992). *Cómo Planificar la investigación acción*. Laertes, S. A. Ediciones.
- Kemmis, S. (1993). *El curriculum: más allá de la teoría de la reproducción*. (2ª ed.) Morata.
- Kemp, M. (1990). *La Ciencia del Arte: La óptica en el arte occidental de Brunelleschi a Seurat*. Ediciones Akal.

- Kemp, M. (1991). Lodovico Cigoli on the Origins and Ragione of Painting. *Mitteilungen Des Kunsthistorischen Institutes in Florenz*, 35(1), 133–152. <http://www.jstor.org/stable/27653303>
- Kirner, C., & Tori, R. (2006). Fundamentos de Realidade Aumentada. In C. Kirner, & R. Tori; R. Sicoutto. (Ed.) *Fundamentos de Tecnologia de Realidade Virtual e Aumentada. Pré Simpósio VIII SVR*. Belém, (pp. 22-38).
- Kirner, C. (2004). Mãos Colaborativas em Ambientes de Realidade Misturada. In *Anais do 1º Workshop de Realidade Aumentada*. Piracicaba, SP, (pp. 1-4).
- Kuhn, T. S. (1962). *The Structure of Scientific Revolutions*. 2nd ed. Chicago. University of Chicago Press.
- Krueger, R.A. & Casey, M.A. (2009). *Focus Groups a practical guide for applied research*. Sage Publications.
- Lamboley, C. (2007). Petite Histoire des Panoramas ou la fascination de l'illusion. *Séance du 26/02/2007, Bulletin n°38*, 37-52.
- Latorre, A., Del Rincon, D., & Arnal, J. (1996). *Bases metodológicas de la investigación educativa*. Hurtado Ediciones.
- Leite, C. (2002). O Currículo e o Multiculturalismo no Sistema Educativo Português. Lisboa: Fundação Calouste Gulbenkian.
- Leite, C. (2003). Para uma Escola Curricularmente Inteligente. Porto: Edições Asa.
- Lescop, L. (2016). Panoramas oubliés: restitution et simulation visuelle. Cahier Louis-Lumière – Revue numérique annuelle de l'ENS Louis-Lumière, École nationale supérieure Louis-Lumière. *Archéologie de l'audiovisuel*, 10, 49-64.
- Lima, J. Á., & Pacheco, J. A. (2006). *Fazer investigação: Contributos para a elaboração de dissertações e teses*. Porto Editora.
- Lopes, Mariana (2014). *Realidade Aumentada para Design em Arquitetura*. [Dissertação de Mestrado, Porto: FEUP].
- Lopes, V.M. (2016). O Espaço da Representação e o Espaço Representado, a Estruturação Geométrica e Perspéctica como Elementos Discursivos numa Narrativa Visual. *Convocarte*, 2, 70-85.
- Lorenzo, M. (1994). Teorias curriculares. In O. Sáenz Barrio (Dir.), *Didáctica General. Un enfoque curricular*. (2ªed., pp. 89-111). Marfil.
- Lowenfeld, V. & Brittain, W. (1977). *Desenvolvimento da capacidade criadora*. Mestre Jou.
- Luz, F. & Peixoto, R. (2015). Fotografia Estereoscópica do Séc. XIX: As experiências de efeito de espectáculo nas origens da fotografia e do cinema. *artciencia. Com, Revista De Arte, Ciência e Comunicação*, 20-21. <https://doi.org/10.25770/artc.11062>
- Maia, P. (2011). O Carácter Demonstrativo das Experiências de Brunelleschi e o seu Impacto na Concepção e Utilização de Dispositivos de Captura entre os Séculos XV e XVII. *Actas do Simpósio La práctica de la perspectiva. Perspectiva en los talleres artísticos europeos*. Universidade de Granada, Granada (publicação 2013).
- Marconi, M. de A., & Lakatos, E.M. (2003). *Fundamentos da Metodologia Científica* (5.ª ed.). Atlas S. A.
- Marcos, A. (2012). Instanciando mecanismos de a/r/tografia no processo de criação em arte digital/computacional. *Invisibilidades* (2012) 3, 138-145. <http://dx.doi.org/10.24981/16470508.3.13>

- Marcos, A. (2014). Média-arte digital – arte na era do artefacto digital/computacional. *Invisibilidades (2014)* 7, 4-8. <https://doi.org/10.24981.16470508.7.1.pdf>
- Marcos, A., Branco, P. & Zagalo, N. (2009). The Creation Process in Digital Art. In Furht B. (Ed.), *Handbook of Multimedia for Digital Entertainment and Arts* (pp. 601-617). Springer.
- Moose, M. (1986). Guidelines for Constructing a Fisheye Perspective. *Leonardo* 19(1), 61-64. <https://www.muse.jhu.edu/article/600389>.
- Morgado, J. C. (2005). Currículo e Profissionalidade Docente. Porto: Porto Editora.
- McNeil, J. (1977). *Curriculum: a comprehensive introduction*. Little Brown.
- Michel, G. (2013). L’oeil, au Centre de la Sphere Visuelle. *Boletim da Aproved*, 30, 3-14.
- Milgram, P., & Kishino F. (1994). A Taxonomy of Mixed Reality Visual Displays. *IEICE Transactions on Information Systems*, Vol. E77-D (12).
- Milman, M. (1982). *Le Trompe l’Oeil*. Genève, Skira.
- Morin, E. (1983). *O paradigma perdido*. Publicações Europa-América.
- NE Thing Enterprises (1993). *The Magic Eye, Volume I: A New Way of Looking at the World*. Andrews McMeel Publishing.
- Neves, M. & Silva, J. (2008). Disturbing the Perspective: The Church against the New Perspective of Galileo and Cigoli. *Science & Democracy*. <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.33837.10722>.
- Niceron, J. F. (1638). *La perspective curieuse, ou magie artificielle des effets merveilleux de l’optique par la vision directe, la catoptrique, par la réflexion des miroirs plats, cylindriques & coniques, la dioptrique, par la réfraction des cristaux: Chez la veufue F. Langlois, dit Chartres*. Public Library of Lyon, Paris (free e-book). <http://www.books.google.com>
- Niceron, J. F., 1646. *Thaumaturgus Opticus*. <http://www.books.google.com>
- Niceron, J.F. (1638). *La perspective curieuse, ou magie artificielle des effets merveilleux de l’optique par la vision directe, la catoptrique, par la réflexion des miroirs plats, cylindriques & coniques, la dioptrique, par la réfraction des cristaux: Chez la veufue*. Pierre Billaine.
- Noval, M. (2013). *Realidade Aumentada no ensino da Matemática: um caso de estudo*. [Dissertação de Mestrado, Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro].
- Oettermann, S. (1997). *The Panorama: History of a Mass Medium*. Zone.
- Oliveira, E. F. (2016). *Anaglifos: Geometria espacial sob outra perspetiva*. [dissertação de Mestrado, IM-UFB, Salvador da Bahia].
- Olivero, L. F. (2021). Hybrid Immersive Models from Cubical Perspective Drawings – Modelli Ibridi Immersivi da Disegni in Prospettiva Cubica, PhD Thesis, University of Campania “Luigi Vanvitelli”, Italy, 2021.
- Olivero, L. & Araújo, A. (2022). Desiderata for a Performative Hybrid Immersive Drawing Platform. *i-com*, 21(1), 33-53. <https://doi.org/10.1515/icom-2022-0009>
- Olivero, L. F., Rossi, A., & Barba, S. (2019). A Codification of the Cubic Projection to Generate Immersive Models. *Disegno*, 4, 53–63. <https://doi.org/10.26375/disegno.4.2019.07>
- Pacheco, J. A. (2001). *Currículo: teoria e práxis* (2ªed). Porto Editora.
- Pacheco, J. A. B. (1990). *Planificação didáctica: uma abordagem prática*. Instituto de Educação.

- Pagliano, A. (2016). Architecture and Perspective in the Illusory Spaces of Ferdinando Galli Bibiena. *Nexus Network Journal* 18, 697-721. <https://doi.org/10.1007/s00004-016-0295-7>
- Panofsky, E. (1999). *A Perspectiva como Forma Simbólica*. Edições70.
- Pedretti, C., & Cianchi M. (1995). Manoscritto H. In: *Leonardo. I codici, Art Dossier, n. 100*, (pp. 28-29).
- Pereira, J. (2013). *Arquitetura e Jogo digital: Interseção e Especificidade*. [Dissertação de Mestrado, Faculdade de Arquitetura-UP].
- Pérez Gómez, A. I. (2012). *Educarse en la era digital*. Morata.
- Perrenoud, P. (1999). *Construir as competências desde a escola*. Artmed.
- Perrenoud, P. (2013). *Desenvolver competências ou ensinar saberes? A escola que prepara para a vida*. Penso.
- Pinar, W. (1985). La reconceptualización en los estudios del curriculum. In J. Gimeno Sacristán & A. Pérez Gomez, *La enseñanza: su teoría y su práctica* (pp. 321-240). Ediciones Akal.
- Pino León, M. (2015). Anamorfosis y artificios perspectivos en la Península Ibérica entre los siglos XVI y XVIII. Faculdade de Belas Artes da Universidade de Barcelona (Tese de Doutoramento).
- Pozzo, A. (1693). *Perspectiva pictorum et architectorum*. Biblioteca Pública de Lyon. (books.google).
- Prensky, M. (2001). Digital Native, digital immigrants. Digital Native immigrants. *On the horizon, MCB University Press, 9(5)*, October.
- Quivy, R., & Campenhoudt, L. (1992). *Manual de Investigação em Ciências Sociais*. Ediciones Morata.
- Rheingold, H. (1994). Pref. *Estereograma*. Gradiva Publicações.
- Ribeiro, A. C. (1996). *Desenvolvimento Curricular* (6ªed). Texto Editora.
- Rossi, A., Olivero, L.F., Araújo, A.B. (2021). For Representation, a New Reality: Hybrid Immersive Models. In P. Magnaghi-Delfino, G. Mele, T. Norando, T. (eds.), *Faces of Geometry. Lecture Notes in Networks and Systems*, vol 172. Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-030-63702-6_20
- Santos, B.S. (2000). *A crítica da razão indolente: contra o desperdício da experiência. Para um novo senso comum: a ciência, o direito e a política na transição paradigmática*. Edições Afrontamento.
- Scherotter, M. (2018). Sketch 360°. United States: Microsoft Store. Accessed: Jan. 30, 2019. [Online]. Available: <https://www.microsoft.com/en-us/p/sketch-360/9p89s2qlh11t>
- Schott, G. (1657). *Magia universalis naturae et artis. Partis I Liber III Pars I*. https://books.google.pt/books?id=JY4PAAAAQAAJ&printsec=frontcover&redir_esc=y#v=onepage&q&f=false
- Schwab, J. (1989). Un enfoque práctico como lenguaje para el curriculum. In J. Gimeno Sacristán & A. Pérez Gomez, *La enseñanza: su teoría y su práctica* (pp. 197-209). Ediciones Akal.
- Scrivener, S. (2002). The art object does not embody a form of knowledge. *Working papers in Art & Design*. https://www.herts.ac.uk/data/assets/pdf_file/0008/12311/WPIAAD_vol2_scrivener.pdf
- Sherman W. & Craig, A. (2003) *Understanding Virtual Reality: Interface, Application, and Design*. San Francisco, CA: Morgan Kaufmann.

- Shpitalni, M. (1999). *Virtual and Augmented Reality Technologies for Product Realization*. CIRP Annals - Manufacturing Technology.
- Solso, R. (1994). *Cognition and the Visual Arts*. MIT Press, Bradford Books Series in Cognitive Psychology.
- Sousa, A. B. (2009). *Investigação em Educação* (2ª edição). Livros Horizonte
- Spiliotis, A. (2008). *Illusionism in Architecture: Anamorphosis, Trompe L'oeil and other illusionary techniques from the Italian Renaissance to today*. [Dissertation for the Degree of Bachelor of architecture, University of Manchester]. <https://archive.org/details/Illusionism-in-Architecture-Anamorphosis-Trompe-lOeil-and-other-illusionary-tech/page/n1/mode/2up>
- Stenhouse, L. (1987). *Investigación y desarrollo del curriculum*. (2ª ed.). Morata.
- Sgrinzatto, C. (2021). Venice Original: A spherical illustration of an imaginary environment. In *ARTECH 2021: 10th International Conference on Digital and Interactive Arts*. <https://doi.org/10.1145/3483529.3483754>
- Sullivan, G. (2005). *Art Practice as Research - Inquiry in the Visual Arts*. SAGE Publications.
- Taylor, B. (1715). *New Perspectives of Linear Perspective*. Harvard College Library.
- Taylor, B. (1835). *Principles of Linear Perspective, or, The Art of Designing Upon a Plane The Representation of All Sorts of Objects, as They Appear to the Eye*. Paperback.
- Taylor, B. (1992). New Principles of Linear Perspective. In Brook Taylor's Work on Linear Perspective, (vol. 10, pp. 145-247). Springer New York. https://doi.org/10.1007/978-1-4612-0935-5_3
- Taylor, B. (1719). *New principles of linear perspective or the art of designing on a plane the representations of all sorts of objects*. R. Knaplock.
- Termes, D. A. (1991). Six-point perspective on the sphere: The termesphere. *Leonardo*, 24(3), 289–292.
- Trindade, A.O. (2008). Um olhar sobre a perspetiva linear em Portugal nas pinturas de cavelete, tetos e abóbadas: 1470-1816. Universidade de Lisboa, Faculdade de Belas-Artes (Tese de Doutoramento)
- Trindade, A.O. (2013). A concepção de uma Anamorfose, do séc. XVI ao séc. XX. Requisitos, técnicas e uma demonstração prática. In: A.P.F. Marques (coord.), *Atas do Congresso, As idades do desenho* (pp.85-102). Lisboa, FBAUL.
- Trindade, A.O. (2015). *A Pintura integrada em Tectos e Abóbadas e a Perspetiva Linear*. Lisboa: CIEBA, FBAUL.
- Tuckman, B.W. (2005). *Manual de Investigação em Educação: Como conceber e realizar o processo de investigação em Educação* (3.ª ed.). Fundação Calouste Gulbenkian.
- Tyler, R. (1949). *Basic principles of curriculum and instruction*. University of Chicago Press.
- Varini, Felice (2013). *From Spaces to Spaces*. New York: Lars Muller Publishers.
- Veiga Simão, A. M., Flores, M. A., Morgado, J. C., Forte, A. M., & Almeida, T. F. (2009). Formação de Professores em contextos colaborativos. Um projecto de investigação em curso. *Sísifo. Revista de Ciências da Educação*, 8, 61-74.
- Veltman, Kim Henry (1986). *Perspectiva, anamorphosis and vision*. Marburger Jahrbuch. Marburg, Vol. 21.
- Vereycken, K. (1996). The Invention of Perspective. *Fidelio*, Volume 5, Number 4.
- Vince, J. (1998). *Essential Virtual Reality Fast*. Springer-Verlag London Limited.
- Vuibert, H. (1912). *Les Anaglyphes Géométriques*. Librairie Vuibert.

- Ware, W. (1900). *Modern perspective: a treatise upon the principles and practice of plane and cylindrical perspective*. <http://archive.org/details/modernperspectiv00warerich>
- Wheatstone, C. (1852). Contributions to the physiology of vision – Part the second. On some remarkable, and hitherto unobserved, phenomena of binocular vision. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London*, 142, 1-17.
- Williams, K. & Monteleone, C. (2021). *Daniele Barbaro's Perspective of 1568*. Springer Nature. <https://doi.org/10.1007/978-3-030-76687-0>
- Xavier, J.P. (1995). *Relatório de uma aula teórico-prática., prepared in the scope of Proof of Scientific Aptitude and Capacity*, (pp. 33–39). Faculdade de Arquitetura da Universidade do Porto, Porto.
- Xavier, J.P. (1997). *Perspectiva, Perspectiva Acelerada e Contraperspectiva – Dos enganos e “dezenganos” da vista*. Coleção Escola, série 3, nº 2. FAUP Publicações
- Xavier, J.P. (2004). *Sobre as origens da perspectiva em Portugal: O «Livro de Perspectiva» do Códice 3675 da Biblioteca Nacional, um «Tratado de Architectura do século XVI»*. [Tese para a obtenção do grau de Doutor, FAUP].
- Xavier, J.P. (2005) Será possível reabilitar o ‘método da diagonal’ de Dürer?. In *Boletim da APROGED*, nº 24, 19-26.
- Xavier, J.P., Sousa, J.P., & Castro, A. (2019). Didactic Experiences on Digital Modeling. Anamorphosis. In L. Cocchiarella (Ed.), *ICGG 2018—Proceedings of the 18th International Conference on Geometry and Graphics, Advances in Intelligent Systems and Computing 809* (pp. 1789–1800). https://doi.org/10.1007/978-3-319-95588-9_160
- Zhou, F., Duh, H. B.-L., & Billinghurst, M. (2008). Trends in augmented reality tracking, interaction and display: A review of ten years of ISMAR. In *IEEE International Symposium on Mixed and Augmented Reality* (pp. 15-18). Cambridge, UK.

ANEXOS

**Anexo I – Pedidos de autorização para a
realização do estudo**



Pedido de Autorização para Realização de Estudo

Exmo. Sr. Diretor,

No âmbito do projeto de investigação intitulado “Anamorfose e Realidade Aumentada: Uma proposta de itinerário para o estudo da Geometria na Disciplina de Educação Visual”, venho, por este meio, solicitar autorização para a realização do estudo e para a recolha de dados junto de alunos do 9º ano nas escolas básicas pertencentes ao Agrupamento de Escolas que V.Ex.cia dirige. Os principais objetivos deste estudo são:

- Desenvolver artefactos em realidade aumentada que permitam visualizar diagramas em anamorfose;
- Desenvolver um itinerário formativo para o desenho de anamorfozes integrado no programa de educação visual do 3º ciclo de escolaridade;
- Avaliar o contributo desta abordagem para a compreensão dos conceitos inerentes à construção da perspetiva e ao desenvolvimento da perceção espacial dos alunos.

Os dados serão recolhidos através de questionários escritos de resposta aberta (uma página A4) com duração de aproximadamente 20 minutos. De referir que o questionário foi autorizado pelo Ministério da Educação para ser aplicado em meio escolar.

Os dados recolhidos serão utilizados para efeitos de investigação e poderão ser publicados através da citação de pequenos excertos. O projeto segue as normas da ética de investigação em educação, aceites internacionalmente, nomeadamente o consentimento informado voluntário e a confidencialidade dos dados que serão apenas usados para fins investigativos. Em anexo, envio o questionário, bem como documento para obtenção de autorização para participação dos alunos por parte dos pais e Encarregados de Educação.

Caso assim o deseje, poderei enviar os resultados deste estudo.

Muito obrigado pela colaboração.

Manuel Flores

manuel.flores@agv.edu.pt

17 de setembro de 2018

Orientadores:

António Araújo (Universidade Aberta)

Mauro Figueiredo (Universidade do Algarve)



PEDIDO DE COLABORAÇÃO

Ano Letivo 2018/2019

Ex.mo/a. Sr./a Encarregado/a de Educação,

Venho, por este meio, solicitar a V. Ex^ª, na qualidade de Encarregado de Educação, autorização para o seu educando participar num projecto de investigação sobre o tema "Anamorfose e Realidade Aumentada: Uma proposta de itinerário para o estudo da Geometria na Disciplina de Educação Visual" que tem como objetivos:

- ❖ Desenvolver artefactos em realidade aumentada que permitam visualizar diagramas em anamorfose;
- ❖ Desenvolver um itinerário formativo para o desenho de anamorfoses integrado no programa de educação visual do 3º ciclo de escolaridade;
- ❖ Avaliar o contributo desta abordagem para a compreensão dos conceitos inerentes à construção da perspetiva e ao desenvolvimento da perceção espacial dos alunos.

A recolha de dados será efetuada por observação direta, registo fotográfico e através da aplicação de questionários aos alunos no contexto escolar com o conhecimento e autorização da Direção da Escola.

Neste projeto seguem-se as normas da ética de investigação em educação, nomeadamente o consentimento informado voluntário e a confidencialidade dos dados que serão apenas usados para fins investigativos. O estudo está a ser realizado com o apoio do Centro de Investigação em Artes e Comunicação (CIAC) da Universidade do Algarve, sob a responsabilidade dos investigadores António Araújo (UAb) e Mauro Figueiredo (UALg).

Agradecemos desde já a vossa atenção e colaboração neste projeto.

Manuel Flores

setembro de 2018

Ficha de Autorização

Eu, _____, Encarregado/a de Educação do/a aluno/a _____, a frequentar o 9º ano, na turma _____, com o nº _____, declaro que me foi dada informação sobre a investigação e autorizo que o(a) meu/minha educando(a) participe no estudo «Anamorfose e Realidade Aumentada: Uma proposta de itinerário para o estudo da Geometria na Disciplina de Educação Visual».

Data: __/__/__

Assinatura do Encarregado de Educação _____

Anexo II – Instrumentos de recolha de dados



INQUÉRITO POR QUESTIONÁRIO ANAMORFOSES E REALIDADE AUMENTADA

Este questionário enquadra-se no projeto de investigação em curso, no âmbito do Doutoramento em Média-Arte Digital da Universidade Aberta e Universidade do Algarve, onde se pretende estudar as potencialidades da utilização da Realidade Aumentada no contexto da educação artística.

Os dados obtidos através deste questionário serão tratados confidencialmente e usados apenas no âmbito desta investigação.

Agradecemos, desde já, a tua colaboração.

1. Sexo

Masculino

Feminino

2. Idade _____

3. Que tipo de tecnologias tens ao teu dispor?

(seleciona uma ou mais opções)

Computador

Smartphone

Tablet/iPad

Telemóvel

4. Tens acesso à internet em casa?

Sim

Não

5. Onde acedes à internet?

(se seleccionares a opção "outra", indica, pf, onde)

- Em casa
- Na escola
- No shopping/café
- Através dos dados móveis
- Other: _____

6. Quanto tempo passas, habitualmente, na internet?

(selecciona a opção mais adequada)

- Nunca
- Até uma hora por dia
- De 1 hora a 3 horas por dia
- Mais de 3 horas por dia
- Só aos fins de semana
- Esporadicamente (de longe a longe)
- Sempre ligado

7. Utilizas a internet para aceder a:

(selecciona uma ou mais opções)

- Jogos online _____
- Redes sociais
- Ver filmes
- Seguir canais/blogss
- Consultar e-mail
- Pesquisar temas do teu interesse
- Realizar trabalhos escolares

Other:

8. Participas em redes sociais?

- Sim
- Não

9. Em que redes sociais participas

(selecciona um ou mais opções)

- Facebook
- Instagram
- YouTube
- WhatsApp
- Twitter
- Snapchat
- Flickr
- Pinterest
- Other:

10. Levas o telemóvel, diariamente, para a escola?

- Sim
- Não

11. Na escola, utilizas o telemóvel para:

(seleciona uma ou mais opções)

- Fazer chamadas
- Enviar mensagens
- Jogar
- Aceder às redes sociais
- Tirar fotografias
- Gravar videos
- Ouvir música
- Consultar matéria das aulas
- Tomar notas ou apontamentos
- Realizar atividades relacionadas com a escola/disciplinas
- Other: _____

12. Já alguma vez utilizaste o telemóvel dentro da sala de aula?

- Sim
- Não After the last question in this section, skip to question 16.

13. Em que circunstâncias utilizaste o telemóvel na sala de aula?

- Com autorização do professor
- Sem autorização do professor

14. Utilizaste o telemóvel na sala de aula para assuntos relacionados com a matéria da disciplina?
(selecciona apenas uma opção)

- Sim
- Não

15. Os teus professores utilizam, com regularidade, tecnologias digitais na sala de aula?
(selecciona apenas uma opção)

- Em todas as aulas
- Muitas vezes
- Raramente
- Não utilizam

16. Quais as tecnologias digitais que os teus professores mais utilizam na sala de aula?

17. Se não utilizam, indica quais as tecnologias digitais que gostarias que os teus professores utilizassem.

18. Dá um exemplo de uma tecnologia que um professor teu utilizou na aula e achaste interessante.

19. Na tua opinião, o teu interesse/motivação é maior quando os professores permitem que utilizes tecnologias digitais para aprender a matéria.

Sim

Não

20. Porquê?

21. Conheces a tecnologia da Realidade Aumentada?

(selecciona apenas uma opção)

Não

Sim, mas nunca utilizei

Sim, já utilizei fora da escola

Sim, já utilizei dentro da sala de aula

22. Em que disciplina usaste a tecnologia de Realidade Aumentada?

23. Descreve uma situação em que tenhas utilizado a tecnologia de Realidade Aumentada.

24. Sabes o que é uma anamorfose?

Sim

Não

25. Achas que é possível relacionar uma anamorfose com a tecnologia de Realidade Aumentada?

(selecciona apenas uma opção)

- Não faço ideia
- Sim
- Não

Obrigado pela tua colaboração!

Powered by
 Google Forms



**PROTOCOLO DAS ENTREVISTAS AOS ALUNOS
(Grupos focais exploratórios)
Ano Letivo 2018/2019**

Contexto do grupo focal: Projeto de investigação intitulado “Anamorfose e Realidade Aumentada: Uma proposta de itinerário para o estudo da Geometria na Disciplina de Educação Visual”, no âmbito do Doutoramento em Média-Arte Digital da Universidade Aberta e Universidade do Algarve, com o objetivo de estudar as potencialidades da utilização da Realidade Aumentada e das Anamorfozes no contexto da educação artística.

Participantes no grupo focal: Alunos de duas turmas do 9º ano de escolaridade.

Objetivos da entrevista (grupo focal):

- Compreender a aplicabilidade da Realidade Aumentada no estudo da geometria;
- Compreender a aplicabilidade das Anamorfozes para o estudo da perspetiva;
- Avaliar o impacto deste itinerário junto dos alunos;
- Identificar potencialidades e fragilidades na implementação deste itinerário de formação.

Caracterização dos participantes (registar dados biográficos)

Nº de participantes _____; Sexo _____; Idade _____; Ano que frequenta _____

Guião da entrevista

NOTA: Explicar em que consiste o projeto de investigação e sublinhar que é importante a participação dos alunos. Solicitar permissão para transcrever excertos nos relatórios de investigação que vierem a ser produzidos, garantindo a confidencialidade dos dados. Serão utilizados nomes fictícios para os intervenientes deste estudo.

Algumas respostas a algumas questões serão recolhidas através da aplicação Mentimeter.

1. Gostaste de utilizar a Realidade Aumentada nas aulas de Educação Visual?

Escala de 1 (nada satisfeito) a 5 (muito satisfeito)

Justifica: _____

2. A utilização da Realidade Aumentada foi importante para a compreensão da noção de perspetiva?

Escala de 1 (nada satisfeito) a 5 (muito satisfeito)

3. A utilização da Realidade Aumentada foi importante para compreender melhor os fenómenos das ilusões de ótica?

Escala de 1 (nada satisfeito) a 5 (muito satisfeito)

4. Indica o teu grau de satisfação relativamente à utilização da Realidade Aumentada na disciplina de Educação Visual?

Escala de 1 (nada satisfeito) a 5 (muito satisfeito)

5. A utilização da Realidade Aumentada tornou as aulas de Educação Visual mais interessantes?

Escala de 1 (nada satisfeito) a 5 (muito satisfeito)

6. O que te cativou mais na utilização da Realidade Aumentada disciplina de Educação Visual?

Compreensão da noção de perspetiva

Compreensão das ilusões de ótica

7. Quais as principais dificuldades que sentiste na utilização das aplicações de Realidade Aumentada?

Procurar a aplicação para instalar

No processo de instalação

Na utilização da aplicação

O smartphone não permitia utilizar a aplicação

Falta de espaço na memória para instalar a aplicação

8. Descreve o momento que mais gostaste de entre todas as atividades realizadas nas aulas de educação visual, durante este ano letivo?

9. O teu interesse pelas aulas de Educação Visual aumentou com a utilização da Realidade Aumentada nas aulas?

Escala de 1 (nada satisfeito) a 5 (muito satisfeito)

Porquê?

10. Descreve uma situação em que tenhas utilizado a tecnologia da Realidade Aumentada?

11. Como avalias a tua experiência com a Realidade Aumentada?

Escala de 1 (nada interessante) a 5 (muito interessante)

12. Sabes o que é uma anamorfose?

13. Achas que é possível relacionar a uma anamorfose com a tecnologia da Realidade Aumentada?

14. A construção das anamorfozes ajudou a compreender melhor a construção das perspetivas.

Escala de 1 (nada satisfeito) a 5 (muito satisfeito)

15. O teu interesse pelas aulas de Educação Visual aumentou com a utilização da Realidade Aumentada nas aulas?

Escala de 1 (nada satisfeito) a 5 (muito satisfeito)

QUESTÕES FINAIS

- Gostarias de utilizar a tecnologia de Realidade Aumentada noutras disciplinas? (Porquê? Exemplos)

- Que sugestões de melhoria recomendarias para melhorar a utilização da tecnologia de Realidade Aumentada? (Porquê? Exemplos?)

Agradecer novamente participação neste projeto e perguntar se querem acrescentar algo.

**Anexo III - Cronologia da aplicação do
itinerário formativo**

Cronologia da aplicação do itinerário formativo

1º Período		2º Período		3º Período	
17/09/2018		07/01/2019	Contrastes cromáticos	24/04/2019	Património e identidade nacional - Museus
19/09/2018	Inquérito inicial	09/01/2019	O volume dos objetos Luz e Sombra	29/04/2019	Manifestações culturais na arte contemporânea
24/09/2018		14/01/2019		06/05/2019	
26/09/2018		16/01/2019	Perceção visual e Ilusão de movimento	08/05/2019	
01/10/2018		21/01/2019	Figura e fundo	13/05/2019	
03/10/2018	Perspetiva cónica Um ponto de fuga	23/01/2019	Projeção anamórfica de um cubo	15/05/2019	Projeto artístico e sustentabilidade
08/10/2018	Perspetiva frontal (sala de aula)	28/01/2019		20/05/2019	
10/10/2018		30/01/2019		22/05/2019	
15/10/2018		04/02/2019	Marcadores de RA	27/05/2019	
17/10/2018	Perspetiva com dois pontos de fuga	06/02/2019	Anamorfose do cubo Método ortográfico	29/05/2019	
22/10/2018	Acima do observador	11/02/2019		03/06/2019	Realidade Virtual Inquérito final
24/10/2018	Abaixo do observador	13/02/2019	Luz e cor na anamorfose	05/06/2019	<i>Focus group</i> <i>Mentimeter</i>
29/10/2018	Perspetiva com três pontos de fuga	18/02/2019			
31/10/2018		20/02/2019			
05/11/2018		25/02/2019	Aplicações de RA Pts fuga anamorfose		
07/11/2018	Dupla ortogonal	27/02/2019	Anáglifos (óculos 3D)		
12/11/2018	Tripla ortogonal	11/03/2019	Arte abstrata e figurativa		

14/11/2018		13/03/2019	
19/11/2018	Trabalhos em SketchUp	18/03/2019	Curvilínea intuitiva Foto panorâmica
21/11/2018		20/03/2019	Grelha equirretangular Cubo acima observador.
26/11/2018		25/03/2019	Grelha equirretangular Cubo abaixo observador.
28/11/2018		27/03/2019	Grelha equirretangular Quarto de Van Gogh
03/12/2018		01/04/2019	Realidade Virtual
05/12/2018	Impressão 3D	03/04/2019	<i>Focus group</i> <i>Mentimeter</i>
10/12/2018	Modelo virtual e 3D		
12/12/2018	Focus group Mentimeter		

Este itinerário foi aplicado em duas turmas do 9º ano - 2018-2019
As datas indicadas correspondem a aulas de 50 minutos de Educação Visual

Anexo III – Óculos 3D anáglifo

Óculos 3D anáglifo (lente azul e vermelha)

Modelo para impressão em papel

