

M

MESTRADO  
SISTEMAS E MEDIA INTERATIVOS

A Caixa Negra e o  
Espectro Luminoso: instalação interativa  
Jorge Alexandre Pereira

11/2022

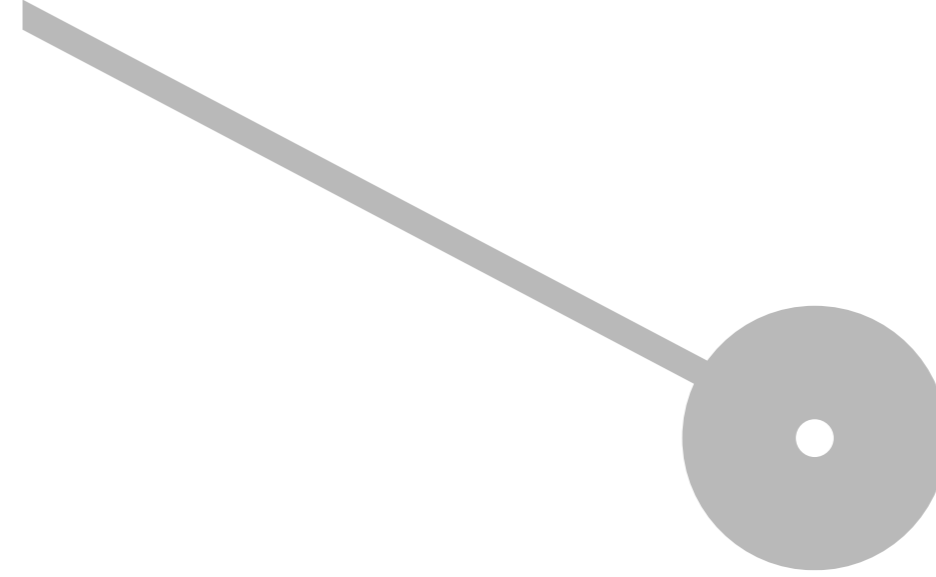
Jorge Alexandre Pereira . A Caixa Negra e o Espectro Luminoso: instalação interativa

M

MESTRADO  
SISTEMAS E MEDIA INTERATIVOS

A Caixa Negra e o Espectro  
Luminoso: instalação interativa  
Jorge Alexandre Pereira

11/2022



Politécnico do Porto  
Escola Superior de Media Artes e Design

Jorge Alexandre Pereira

A Caixa Negra e o Espectro Luminoso: instalação interativa

Trabalho de Projeto

Mestrado em Sistemas e Media Interativos

Orientação: Prof. Manuel Jorge de Abreu Antunes Lima

Coorientação: Prof. Hugo Edgar Pinho Mesquita

Versão final definitiva

Vila do Conde, novembro de 2022

Politécnico do Porto  
Escola Superior de Media Artes e Design

Jorge Alexandre Pereira

A Caixa Negra e o Espectro Luminoso: instalação interativa

Trabalho de Projeto

Mestrado em Sistemas e Media Interativos

Orientação: Prof. Manuel Jorge de Abreu Antunes Lima

Coorientação: Prof. Hugo Edgar Pinho Mesquita

Vila do Conde, novembro de 2022

Jorge Alexandre Pereira

A Caixa Negra e o Espectro Luminoso: instalação interativa

Trabalho de Projeto

Mestrado em Sistemas e Media Interativos

Membros do Júri

Presidente

Prof.<sup>a</sup> Doutora Olívia Marques da Silva

Presidente da Escola Superior de Media Artes e Design – ESMAD, Politécnico do Porto

Vogais

Prof. Manuel Jorge de Abreu Antunes Lima

Professor Adjunto – ESMAD, Politécnico do Porto

Dra. Francisca Rocha Gonçalves

Investigadora – Instituto IGB Leibniz, Berlim

Vila do Conde, novembro de 2022

Para a Maria, o Luís e o Tiago e em memória do meu pai e irmão mais velho

## AGRADECIMENTOS

À minha mulher Maria pelo apoio e aos meus filhos Luís e Tiago pela paciência e compreensão por algumas brincadeiras que tivemos de adiar.

Aos meus orientadores, professor Jorge Lima e professor Hugo Mesquita por toda a atenção, ajuda e disponibilidade.

A todos os professores do mestrado, em especial ao professor Luís Leite.

Aos meus colegas do mestrado, em especial à Sara.

Ao pessoal do CPR pelas sugestões e apoio com equipamentos e espaços.

Aos meus amigos.

## RESUMO

A visão é a percepção da luz.

Quanto maior o nosso entendimento sobre as propriedades da luz, maior o prazer quando a observamos e entendemos a sua relação com os objetos, as pessoas e a natureza.

A energia luminosa propaga-se pelo espaço sobre a forma de ondas eletromagnéticas e, quando embate numa superfície, a luz é refratada, absorvida e refletida em várias direções, provocando as mais diversas reações químicas, físicas e sensoriais.

Em conjunto, a luz e a ótica funcionam bem enquanto meio de comunicação. A luz “transporta” diferentes temperaturas de cor que impactam com as nossas habilidades cognitivas, dependendo de certas condições de luz, espaço e mecanismos.

Este projeto aborda a temática da luz, a sua propagação no espaço-tempo e a interatividade humana com acontecimentos de luz, cor e forma.

**Palavras-chave:** Comunicação visual; Ótica Geométrica; Fenómenos luminosos; Interação.

## ABSTRACT

Vision is our perception of light.

The greater our understanding from the physics of light, the greater our pleasure when we stand observing it so we can understand its relationship with objects, people and nature.

Light's energy propagates through space in the form of electromagnetic waves and, when it hits some surface, the light refracts, is absorbed or reflected in various directions, causing the most diverse chemical, physical and sensory reactions.

Together, light and optics work as a means of communication. Light "carries out" different color temperatures that impact with our cognitive abilities, depending on certain light conditions, space and mechanisms.

This project addresses the theme of light, its propagation in time and space, as well the human's interaction with light events, color and shapes.

**Keywords:** Visual communication; Geometrical optics; Luminous phenomena; Interaction.

# Sumário

Lista de Figuras.....	10
Lista de siglas e abreviaturas.....	13
INTRODUÇÃO .....	14
1.    Objetivos .....	16
2.    Estrutura do documento .....	16
CAPÍTULO UM – ENQUADRAMENTO TEMÁTICO.....	18
1.    Conceitos.....	18
1.1.    Fenómenos luminosos de grande escala - Luz zodiacal, Aurora e Arco-Íris	18
1.2.    A luz e a percepção visual humana .....	22
1.3.    A caixa negra, ou <i>camera obscura</i> , na ciência e na arte.....	24
1.4.    Ótica geométrica.....	26
1.5.    A refração da luz e a ilusão ótica.....	29
1.6.    Contemplação do belo .....	31
1.7.    A interatividade .....	32
2.    Trabalhos de referência e inspiração.....	34
2.1.    James Turrel.....	34
2.2.    Olafur Eliasson .....	36
CAPÍTULO DOIS – O PROJETO - PESQUISA, PRÁTICA E ANÁLISE .....	40
3.    Pesquisa e Trabalho – A caixa negra e o espaço da ação .....	40
3.1.    Análise e prática.....	41
3.2.    Conclusão e ajustes.....	42
4.    Pesquisa e Trabalho – Tela, o plano onde se projeta a ação.....	43
4.1.    Análise e prática.....	43
4.2.    Conclusão e ajustes.....	45

5.	Pesquisa e Trabalho – Fontes de luz .....	46
5.1.	Análise e prática.....	47
5.2.	Conclusão e ajustes.....	48
6.	Pesquisa e Trabalho – Orquestra de luz e cor, a modelação dos visuais.....	49
6.1.	Análise e prática.....	49
6.2.	Conclusão e ajustes.....	56
CAPÍTULO TRÊS – CAIXA NEGRA, A MONTAGEM FINAL .....		58
7.	Componentes .....	58
8.	Design.....	58
8.1.	Análise e prática.....	59
8.2.	Conclusão e ajustes.....	61
CAPÍTULO QUATRO – O INTERATIVO E O AUTÓNOMO .....		65
9.	Modos de comunicar .....	65
9.1.	A manipulação .....	65
9.2.	A contemplação .....	69
9.3.	A autonomia .....	69
9.4.	Alguns ajustes .....	70
CAPÍTULO CINCO – INSTALAÇÃO EXPOSITIVA .....		72
10.	A relação com o objeto e o espaço .....	72
10.1.	Análise.....	72
10.2.	Instalação física .....	72
CONCLUSÕES E TRABALHO FUTURO .....		75
11.	Trabalho futuro .....	77
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....		78
ANEXOS.....		80

## Lista de Figuras

Figura 1 - Luz Zodiacal, geometria da emissão dum fluxo corpuscular e projeção no plano da eclíptica .....	19
Figura 2 - Luz Zodiacal sobre o horizonte lunar .....	19
Figura 3 - Luz Zodiacal, vista do Monte Haleakala, Havaí.....	20
Figura 4 - Aurora, nuvens de partículas observadas a partir da Estação Espacial Internacional, 17 de setembro de 2020.....	21
Figura 5 - Arco-Íris sobre paisagem rural com céu tempestuoso num dia de verão .....	22
Figura 6 - Espectro electromagnético e espectro visível da luz.....	23
Figura 7 - Representação do olho humano e o seu funcionamento enquanto meio ótico ....	23
Figura 8 - O conceito de <i>camera obscura</i> conforme percecionado há mil anos por Alhazen.	25
Figura 9 - Esboço de uma camera obscura por Leonardo da Vinci na sua obra Codex Atlanticus (1515), preservada na Biblioteca Ambrosiana, Milão (Itália) .....	25
Figura 10 - Representação da ação da luz solar numa gotícula de água do arco-íris .....	26
Figura 11 - Propagação da luz em linha reta, características e movimento oscilatório.....	27
Figura 12 - (a) Reflexão especular. (b) Reflexão difusa .....	28
Figura 13 - A refração da luz. (n1) ar. (n2) água .....	29
Figura 14 - Ilusão ótica dum lençol de água com o reflexo dos veículos.....	30
Figura 15 - Ilustração de miragem no alcatrão.....	30
Figura 16 - Imagem da Terra iluminada pelo sol com <i>flare</i> na lente .....	31
Figura 17 - Instalação “Sometimes an underground movement is an illuminated bridge”, 2020, de Olafur Eliasson .....	33
Figura 18 - Vista do cone de cinza vulcânica onde está instalada a obra de arte de grande escala “Roden Crater”, na região norte do deserto do Arizona, Estados Unidos da América.....	34
Figura 19 - Crater Bowl, zona de observação a partir do interior da cratera de cinza de “formato tigela” .....	35
Figura 20 - Roden Crater, espaço sul .....	35
Figura 21 - Instalação “Beauty”, 1993 no PinchukArtCentre, Kyiv, 2011 .....	36
Figura 22 - "Room for one colour", 1997 .....	37
Figura 23 - "Parallax planet", 2014 .....	38
Figura 24 - “Spectral projection”, 2005.....	39

Figura 25 - Esboço original representativo da ideia inicial do projeto/instalação numa sala .	40
Figura 26 - primeiro esboço da posição dos mecanismos em relação à tela.....	41
Figura 27 - Primeiro ensaio sobre espaço físico da ação e ajuste da nitidez de imagem .....	42
Figura 28 - Esquema representativo do ajuste da relação de distância entre os elementos necessários para a formação de imagem nítida sobre a tela .....	43
Figura 29 - Registo fotográfico das primeiras formas visuais projetadas sobre a parede de ensaio .....	44
Figura 30 - Papel esquiço de 55g/m <sup>2</sup> utilizado nos primeiros ensaios de retroprojeção de imagem.....	44
Figura 31 - Propagação da luz por diferentes meios de transmissão .....	45
Figura 32 - Pormenor de retalho da cortina de duche e imagem da aplicação na caixa negra .....	46
Figura 33 - Escala da temperatura de cor da luz em graus Kelvin .....	47
Figura 34 - Os três tipos diferentes de lanternas utilizadas nos ensaios de luz.....	48
Figura 35 - Retroprojeção de luz sobre a tela. Diferenças de temperatura de cor entre as três lanternas.....	49
Figura 36 - Primeiros ensaios de orquestração dos vários meios óticos e estudo de medidas .....	50
Figura 37 - Estudo sobre a concentração do foco para modelação de luz .....	51
Figura 38 - Lentes oftálmicas por cortar cedidas pela Óptica da Estrela.....	52
Figura 39 - Formas de lentes oftálmicas. As utilizadas neste projeto são menisco divergentes .....	52
Figura 40 - Estudo da refração e reflexão da luz em áreas distintas da superfície das lentes utilizadas neste projeto. A seta indica a direção e origem da fonte de luz .....	53
Figura 41 - Representação do tipo de lentes espessas utilizadas no projeto. Nestas lentes acontece dupla refração (a) e formam-se pontos focais de imagem virtual e imagem real em lados opostos da lente (b).....	54
Figura 42 - Representação de vista frontal e vista de corte transversal da lente de Fresnel .	54
Figura 43 - Filtros de correção de cor utilizados em fotografia, adquiridos em segunda mão	55
Figura 44 - Aspeto de pormenor da montagem dos elementos óticos e imagem do suporte circular .....	57
Figura 45 - Construção do cone modulador de luz reutilizando a chapa de uma lata.....	57

Figura 46 - Estudo e definição dos ângulos de incidência da luz à tela .....	58
Figura 47 - Pesquisa de materiais para a construção da caixa e pormenor da fita metálica com lanterna .....	60
Figura 48 - Esboço sobre a análise do formato ideal para a base da caixa.....	60
Figura 49 - Esboço com as medidas finais da caixa negra .....	61
Figura 50 - Sequência de corte do PVC para a base da caixa negra .....	62
Figura 51 - Sequência de imagens da montagem da estrutura da caixa negra .....	62
Figura 52 - Esboço para suporte do motor de passo e mecanismo de lentes e filtros .....	63
Figura 53 - Fita metálica perfurada a servir de suporte às lanternas .....	63
Figura 54 - Fita metálica perfurada a servir de suporte ao mecanismo de rotação dos elementos ópticos .....	64
Figura 55 - Estrutura do artefacto caixa negra.....	64
Figura 56 - Esboço de um possível mecanismo de rotação manual .....	66
Figura 57 - Esboço da vista de topo com uma tela curva e três veios de manipulação para cada um dos mecanismos de rotação dos elementos óticos .....	66
Figura 58 - Sensores utilizados no projeto: sensor de gestos APDS-9960 à esquerda e joystick KY-023 à direita.....	67
Figura 59 - Esboço de colisões de luz projetada sobre a tela .....	69
Figura 60 - Esboço do ensaio sobre modelação de luz com bloqueadores .....	71
Figura 61 - Captação fotográfica de um momento representativo dos ensaios sobre a modelação de luz com adição de filtros de cor.....	71
Figura 62 - Primeiro esboço da apresentação final .....	73
Figura 63 - Esboço de uma perspetiva da apresentação final .....	74

## **Lista de siglas e abreviaturas**

CPR – Centro de Produção e Recursos

CW – Clockwise

CCW – Counterclockwise

ESMAD – Escola Superior de Media Artes e Design

UCs – Unidades Curriculares

## INTRODUÇÃO

Lidar com a fenomenologia da luz é central a muitos trabalhos científicos e intervenções artísticas.

A luz e o espaço têm sido uma fonte de inspiração e de estudo tanto na ciência como na arte. Na perspectiva científica o matemático Alhazen (Ibn al-Haytham; AD 965-1040) foi reconhecido pelas suas experiências sobre reflexão e refração e creditado, também, por explicar os mecanismos da visão, tempos antes das mais recentes contribuições de Kepler, Decartes, da Vinci, Snell e Newton (Zewail, Ahmed H., 2010).

Leonardo da Vinci (1452-1519), por sua vez, não só revolucionou a arte como antecipou, por meio dos seus alargados estudos, as descobertas científicas de épocas anteriores (Zöllner, F. 2007). E, foi por meio do estudo de manuscritos científicos de vários autores medievais e renascentistas que Leonardo da Vinci melhorou as técnicas da perspectiva na expressão artística do desenho e da pintura, especificamente. Existem referências de que da Vinci conhecia, também, a ótica de Alhazen pois descreve a *camera obscura* de forma concreta referindo o ambiente interior escuro, o pequeno furo de entrada da luz e a formação de uma imagem nítida e invertida (Raynaud, D., 2021, p. 5,6).

De entre os elementos que nos rodeiam, a luz e o espaço, moldam a visão e a forma como o individuo interage com o meio ambiente. Muitos artistas focam-se nos elementos luz e espaço enquanto ferramentas de estudo sobre percepção visual e fenomenologia física da luz para a criação das suas obras (como as obras de Olafur Eliasson e de James Turrel).

O fascínio pela luz, motivação central que guia este projeto, começou há muitos anos, e de forma consciente, com a prática artística da fotografia, ou melhor, tornou-se uma necessidade intrínseca de querer “dominar” a luz, de querer comunicar através de imagens, de conseguir expressar ideias através deste fenómeno físico, a luz.

A fotografia, ou a luz, é um meio de comunicação que apresenta grandes possibilidades de expressão artística por permitir, a par com a ciência ótica, um modo de desenho que pode ser entendido como um modo de escrita (grafia) com luz (foto) por meio de um mecanismo conhecido por câmara fotográfica ou, originalmente do latim, *camera obscura*.

A necessidade pessoal de perceber a luz ao limite, de ir ao encontro do conhecimento da sua estrutura, onde nasce, como evolui, como se propaga e interage com o espaço, os objetos e a natureza, tudo foi decisivo no prosseguimento dos estudos em

fotografia aprofundando conhecimento e prática na área da física ótica como, também, na área do processamento químico da fotografia. Este campo laboratorial da fotografia, em particular, onde a “magia acontece”, onde a imagem latente se torna visível, é como que uma porta de entrada para o mundo da ilusão, para o mundo da representação física de ideias.

O percurso do autor deste projeto foi, até agora, centrado no mecanismo câmara fotográfica como uma forma de comunicação de ideias por meio da captação de luz. Na verdade, a prática fotográfica do autor centrava-se apenas na captação de acontecimentos luminosos para processamento químico, ou digital, e posterior arquivo com vista à contemplação dessas imagens, mesmo sabendo que passariam a ser uma representação e não o acontecimento real percebido, momentos antes do “*clic*”.

Agora, neste projeto de mestrado, acontece como que uma viragem na forma como o autor procura a luz enquanto modo de comunicar e enquanto forma de expressão artística. É uma viragem direcionada para a criação de mecanismos que proporcionam a contemplação direta de origens luminosas emitidas num espaço-tempo presente onde a interação com a luz só é possível enquanto ela existe e onde não há lugar à ação de registo digital ou analógico dessa experiência visual.

Muitas das questões interiores sobre a contemplação da luz e dos fenómenos de luz de grande escala encontraram resposta em vários trabalhos artísticos expostos e apresentados em aula por professores, no decorrer de certas unidades curriculares (UCs) deste mestrado em Sistemas e Media Interativos, trabalhos e autores esses os quais desconhecia a maioria.

Em posterior investigação, dentro do contexto deste projeto, foi aprofundado o estudo de dois artistas contemporâneos, o James Turrel e o Olafur Eliasson, com os quais aconteceu uma maior identificação de entre a imensidão criativa que é desenvolvida, atualmente, por um universo imenso de artistas.

O interesse em ambos surge, particularmente, pelas abordagens que fazem ao tema da luz e por criarem obras de contemplação direta através de mecanismos diversos e estruturas arquitetónicas que proporcionam a observação de fenómenos luminosos de grande escala como o trabalho de Olafur Eliasson “Your rainbow panorama” (Eliasson, O. 2022). Interesse na investigação do trabalho destes dois autores recai, também, pela abordagem que fazem ao tema da ilusão ótica manipulando projeções de luz como, por exemplo, o trabalho de James Turrel “Wedgeworks”, uma série de instalações feitas ao longo

da carreira do artista, onde manipula a forma como a luz artificial se projeta num espaço amplo criando a ilusão da existência de barreiras físicas e paredes (<https://jamesturrell.com/work/type/wedgework/>).

Este projeto de instalação interativa trabalha sobre questões sensoriais dando espaço à subjetividade de interpretação visual do indivíduo sobre a obra. Será como um diálogo entre arte e ótica geométrica, algo que provoca o olhar, a imaginação e a percepção.

## 1. Objetivos

Esta experiência interativa tem como objetivo principal proporcionar modos de perceber o universo dos fenômenos físicos da luz através da interação e contemplação do seu movimento, composição e cor.

Um primeiro objetivo é criar visuais à volta do conceito da nitidez de imagem através da convergência de raios luminosos provenientes de determinado espectro luminoso. Isto é possível agrupando geometrias óticas diversas que exploram a refração e a reflexão dessa luz, interagindo com mecanismos óticos em rotação. Com isto, serão proporcionadas reações contemplativas individualizadas sobre visuais projetados a partir de uma instalação interativa.

A instalação cria condições estruturais e mecânicas na forma de um objeto (a caixa negra), a partir da qual a luz é projetada, manipulada e, paralelamente, cria condições espaciais para o objeto coexistir numa sala onde a interação acontece, entre a obra e o indivíduo.

## 2. Estrutura do documento

A estrutura deste documento reflete a prática do método de investigação e desenvolvimento “practice-based research” (Candy, L. 2006).

A forma do objeto criado surge como resultado de um longo processo criativo, consequência da pesquisa e estudo de conceitos relacionados com o tema da luz e, também, com base na investigação, experimentação e ensaio de materiais de construção, elementos óticos e outros mecanismos. Foi aplicada uma metodologia baseada em “investigação própria

realizada com o objetivo de obter novos conhecimentos, por meio da prática e dos resultados dessa prática” (Candy, L. 2006. p.3).

O documento ficou estruturado em 5 capítulos onde são abordadas as diferentes fases do projeto, respetivamente, seguidos da conclusão e de uma perspetiva de trabalhos futuros.

No primeiro capítulo, “Enquadramento temático”, são descritos conceitos-chave que são estudados e revistos para direcionar o processo de experimentação dos materiais de forma concisa, no decurso do projeto. São, também, revisitadas matérias sobre o estudo da luz, a sua origem e alguns comportamentos físicos da luz quando interage com elementos naturais ou elementos óticos. São, também, abordados exemplos práticos de projetos artísticos de relevo que guiam o processo criativo deste projeto.

O capítulo dois, “O projeto – Pesquisa, estudo, prática e análise”, estrutura o desenvolvimento prático do projeto por vários pontos com momentos de “Pesquisa e trabalho”, “Análise e prática” e “Conclusão e ajustes”. Estes pontos elencam as características dos materiais e dos mecanismos constituintes do artefacto criativo caixa negra e, também, aspetos relacionados com o desenho dos visuais, a projeção e a modelação de luz e cor.

Cada um dos pontos, elencados no capítulo dois, representam os momentos de experimentação livre com base na investigação, seguido da execução e materialização das reflexões anteriores, terminando na afinação final.

No capítulo três explora-se aspetos funcionais do design da caixa-negra, as suas características modulares, a construção, os suportes dos mecanismos e a estabilidade.

O quarto capítulo aborda todas as questões práticas relativas ao funcionamento autónomo e interativo da caixa negra enquanto meio de comunicação visual.

Os aspetos da relação criada entre o objeto e o espaço-tempo são analisados no capítulo cinco numa perspetiva de instalação expositiva onde o culminar do projeto acontece.

Na conclusão é feita uma breve reflexão sobre todo o processo criativo e prático referindo as mudanças de percurso, os estímulos e os desafios, o espírito de improviso, as intenções, terminando naquilo que será a continuidade e o futuro do projeto.

## CAPÍTULO UM – ENQUADRAMENTO TEMÁTICO

Este projeto lida com descrições de origem luminosa e formas de interação com a luz, objetos e pessoas.

Através da instalação física de fontes de luz artificial em conjunto com mecanismos de rotação de lentes e filtros de cor no interior da caixa negra é possível modelar a propagação da luz para criar formas geométricas projetadas no plano oposto à fonte de luz que, neste caso, é uma tela de projeção translúcida.

### 1. Conceitos

O projeto aborda conceitos vários que ajudam na materialização da ideia. É importante a boa percepção da origem da luz e das suas características, como também, noções básicas de ótica geométrica.

São abordados conceitos sobre o espectro luminoso, enquanto fenómeno de grande escala, a percepção visual humana, a ilusão, a ótica geométrica e a interatividade.

#### 1.1. Fenómenos luminosos de grande escala - Luz zodiacal, Aurora e Arco-Íris

Proveniente do sol, a propagação da luz natural através do espaço proporciona acontecimentos visuais no quotidiano humano e, também, à escala do universo observável do espaço sideral, em determinadas circunstâncias e com recurso a equipamentos específicos.

A luz zodiacal é um dos acontecimentos físicos de luz de maior escala, é a luz solar refletida por partículas microscópicas de poeiras que orbitam o sol (Leinert, C., 1975, p.282).

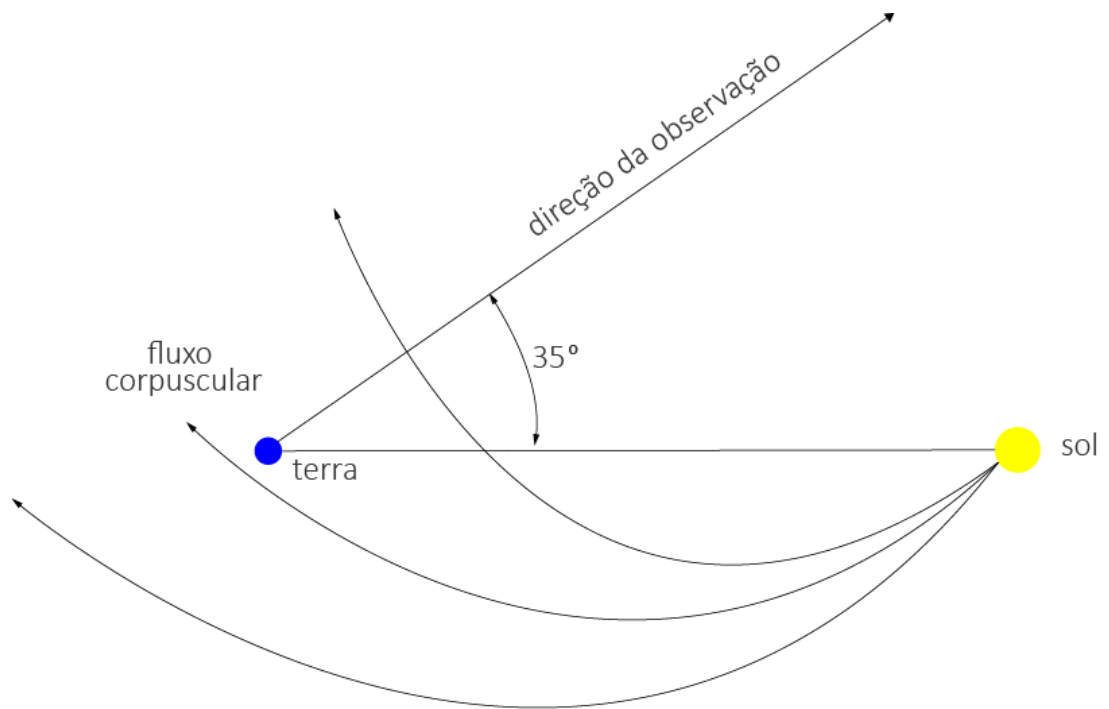


Figura 1 - Luz Zodiacal, geometria da emissão dum fluxo corpuscular e projeção no plano da eclíptica  
 Fonte: (adaptado do artigo Observations of the Zodiacal Light from a very High Altitude Station, capítulo III The Disturbed Zodiacal Light and Corpuscular Radiation, de Blackwell D.E. e Ingham M.F., 1960)



Figura 2 - Luz Zodiacal sobre o horizonte lunar  
 Fonte: NASA, fotografia AS 15-98-13 311 de Worden. (retirado do artigo Zodiacal Light – A Measure of the Interplanetary Environment, introdução, de Leinert C., 1975)



Figura 3 - Luz Zodiacal, vista do Monte Haleakala, Haváí  
Fonte: fotografia de P. Hutchinson, 1 de janeiro de 1967, 5h45 HST(Hawaii Standard Time) (retirado do artigo Zodiacal Light – A Measure of the Interplanetary Environment, introdução, de Leinert C., 1975)

Nas figuras 2 e 3 percebe-se a sua forma quase triangular, observada no céu noturno, estende-se ao longo do plano da eclíptica (Figura 1) onde é perceptível, e é responsável por grande parte da luz natural em noites de Lua nova. É completamente invisível quando o céu está iluminado pela luz da Lua ou pela poluição de luz artificial das cidades (Leinert, C. 1975).

A sua observação está diretamente relacionada com as latitudes dos hemisférios, e por sua vez da estação do ano, do ponto cardeal para onde direcionamos a nossa observação e, também, do momento ideal do dia que, por norma, será depois do crepúsculo ou momentos antes da alvorada. É preciso escolher bem o momento da observação, o brilho estende-se ao longo de toda a eclíptica e observa-se melhor quando o plano da eclíptica se levanta acima do horizonte, dependendo da estação do ano e do hemisfério (Blackwell D.E. e Ingham M.F., 1960).

A aurora é outro dos grandes acontecimentos luminosos que pode ser observado perto dos polos do hemisfério norte e sul. A norte, o fenómeno é conhecido como aurora boreal enquanto a sul é chamado de aurora austral.

As “cortinas” de luz (Figura 4) que observamos no céu noturno são, na verdade, causadas pela atividade da superfície solar na forma de tempestades que produzem enormes nuvens de partículas com energia elétrica que viajam milhões de quilómetros pelo espaço, algumas delas colidindo com o nosso planeta. A maioria dessas partículas é desviada, mas algumas são capturadas pelo campo magnético da Terra, acelerando em direção aos polos norte e sul na atmosfera, concentrando a sua atividade nos polos magnéticos. Este é um

processo físico conhecido por "excitação", é como que aquecer um gás e fazê-lo brilhar. As partículas colidem com átomos e moléculas da nossa atmosfera e, essencialmente, aquecem (Keress, T. 2021).



Figura 4 - Aurora, nuvens de partículas observadas a partir da Estação Espacial Internacional, 17 de setembro de 2020  
Fonte: NASA

O arco-íris, outro exemplo luminoso de grande escala, é dos acontecimentos luminosos mais familiares e é aquele que acompanha, desde sempre, parte do imaginário da infância.

É um excelente exemplo natural para o estudo da luz pois ajuda a perceber a luz branca, também chamada de luz visível, composta por um espectro de comprimentos de onda, cada um associado a uma cor distinta, e chamado de espectro luminoso (<http://infoescola.com/fisica/absorcao-de-luz>).

O arco-íris, por sua vez, é o fenômeno físico perfeito para o estudo e percepção de certas questões da física como a refração, a reflexão e a dispersão da luz, no sentido em que funciona como um prisma gigante.



Figura 5 - Arco-Íris sobre paisagem rural com céu tempestuoso num dia de verão  
Fonte: (<https://gettyimages/iStockphoto/sborisov>)

O arco-íris (Figura 5) é observável estando de costas para o sol e olhando a um ângulo de mais ou menos 40 graus para a atmosfera cheia de gotas de água suspensas.

As gotas de água suspensas funcionam como que um prisma que dispersa a luz branca e a reflete de novo, sendo assim possível observar o fenómeno arco-íris. Acontece que vários comprimentos de onda de luz partem dessas gotículas em direção ao olho humano compostos por várias cores muito específicas, todas elas parte integrante do espectro visível. Cada cor do arco-íris refrata a ângulos diferentes dependendo do comprimento de onda de cada cor. Ou seja, cada cor do arco-íris corresponde a um diferente comprimento de onda do espectro eletromagnético. Essa vasta gama de cores forma um arco visto no céu sempre com a mesma ordem de 7 cores:

. o vermelho, o laranja, o amarelo, o verde, o azul, o roxo(índigo) e o violeta (<https://www.physicsclassroom.com/class/refrn/Lesson-4/Rainbow-Formation>).

## 1.2. A luz e a percepção visual humana

O sol é a principal fonte de ondas de luz visível.

O espectro de luz visível é o segmento do espectro eletromagnético que o olho humano consegue perceber e, essa faixa de comprimentos de onda é chamada de luz visível (<http://infoescola.com/fisica/>).

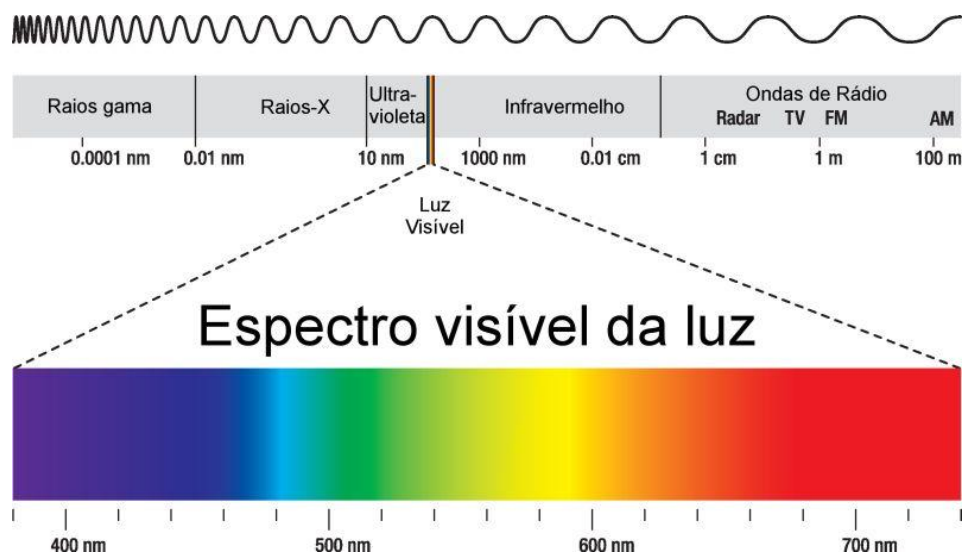


Figura 6 - Espectro eletromagnético e espectro visível da luz  
 Fonte: (<http://infoescola.com/fisica/absorcao-de-luz>) – ilustração de Peter Hermes Furian

O olho humano pode detectar comprimentos de onda de 380 a 700 nanômetros (o metro dividido em bilhões) (<http://infoescola.com/fisica/>).

A radiação eletromagnética (Figura 6) comporta vários comprimentos de onda, desde os raios gama, aos raios-x, ultravioletas, etc., mas a biologia do olho humano apenas percebe uma pequena parte desse espectro ou radiação, conhecida por luz branca ou luz visível.

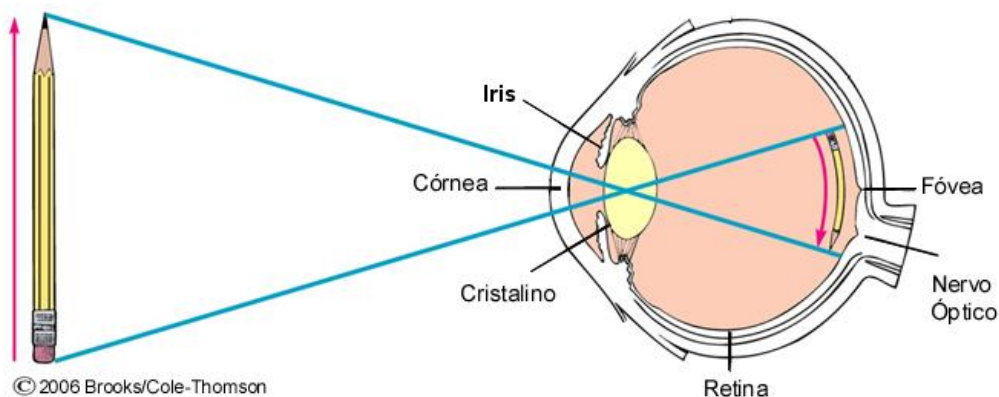


Figura 7 - Representação do olho humano e o seu funcionamento enquanto meio óptico  
 Fonte: (<http://ibb.unesp.br>)

As células dos nossos olhos em forma de cone agem como receptores sincronizados com os vários comprimentos de onda do espectro visível da luz. Outras partes do espectro

eletromagnético têm comprimentos de onda muito grandes ou muito pequenos tendo em conta as limitações biológicas da nossa percepção visual.

A luz refletida nos objetos propaga-se em linha reta no interior do olho humano formando uma imagem invertida (Figura 7), posteriormente processada pelo nosso cérebro que a percebe corretamente (<https://zeiss.pt/compreender-a-visao/o-olho-humano>).

O olho envia a imagem ao cérebro através do nervo ótico e processa-a resultando naquilo a que chamamos de "visão". A luz é a essência porque no breu não se formam imagens, na escuridão somos todos cegos.

Compreender algumas características sobre o funcionamento da luz, como se propaga e percebe, ajuda na estrutura formal deste projeto. E é, da mesma forma, muito importante para o processo criativo ao oferecer uma percepção mais clara do que pode ou não funcionar, durante as fases experimentais do projeto.

### 1.3. A caixa negra, ou *camera obscura*, na ciência e na arte

Ao longo dos tempos, muitos estudiosos procuraram descobrir a luz, perceber o que é, como funciona. A ótica, a par com o estudo das mecânicas, é uma das mais antigas disciplinas.

No campo da ciência, Ibn al-Haytham (Alhazen) 965-1040, astrónomo e matemático, recorria a mecanismos óticos para aprofundar conhecimentos. Alhazen, no séc. XI, descreveu uma *camera obscura* (Figura 8). No seu livro *Book of Optics*, escrito no Cairo entre 1012 e 1021, Alhazen usou o termo "Al-Bayt al-Muthlim", traduzido para o inglês como "*darkroom*" ou câmara escura. Foi descrita a observação de um eclipse solar num compartimento escuro com um furo numa parede para que a imagem do eclipse se desenhasse na parede oposta (Zewail, Ahmed H., 2010, p. 1192).

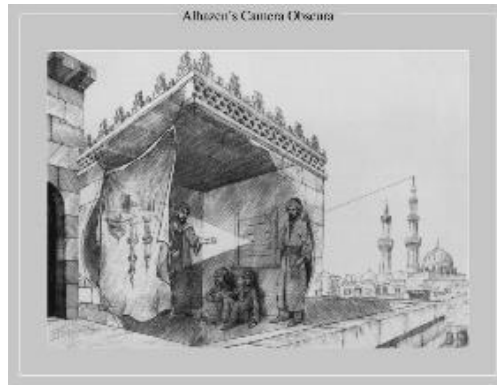


Figura 8 - O conceito de *camera obscura* conforme percebido há mil anos por Alhazen  
Fonte: ([https://www.researchgate.net/figure/The-concept-of-the-camera-obscura-as-perceived-a-thousand-years-ago-by-Alhazen-lbn\\_fig2\\_41398886](https://www.researchgate.net/figure/The-concept-of-the-camera-obscura-as-perceived-a-thousand-years-ago-by-Alhazen-lbn_fig2_41398886))

No campo das artes, também Leonardo da Vinci descreve a *camera obscura*, na sua obra *Codex Atlanticus*, comparando o seu funcionamento ao do olho humano.

Existe um documento de Leonardo da Vinci chamado *Tratado da Pintura* em que é evidente o recurso a sistemas óticos na prática artística da pintura conforme é descrito no documento de 1490: “Para ver se a tua pintura está, no seu conjunto, conforme com a coisa que representas, toma um espelho e faz com que nele se reflita o modelo, compara este reflexo com a tua pintura e vê bem, em toda a superfície, se as duas imagens do objeto se assemelham” (Da Vinci, L. 1490, *Tratado da Pintura*) (Zöllner, F. 2007).

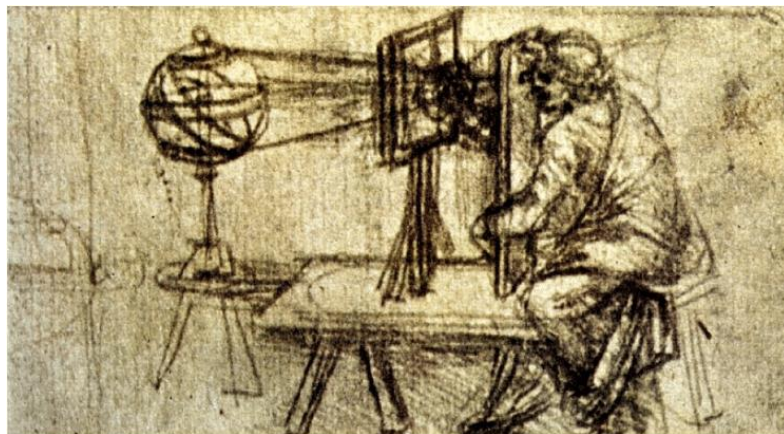


Figura 9 - Esboço de uma camera obscura por Leonardo da Vinci na sua obra *Codex Atlanticus* (1515), preservada na Biblioteca Ambrosiana, Milão (Itália)  
Fonte: ([https://www.researchgate.net/figure/The-camera-obscura-sketched-by-Leonardo-da-Vinci-in-Codex-Atlanticus-1515-preserved-in\\_fig1\\_291379167](https://www.researchgate.net/figure/The-camera-obscura-sketched-by-Leonardo-da-Vinci-in-Codex-Atlanticus-1515-preserved-in_fig1_291379167))

Durante o período da Renascença, a *camera obscura* foi sendo aperfeiçoada para desenhos em perspectiva como, também, para observações científicas (Figura 9). É fascinante de observar o acontecimento de luz no interior destes dispositivos.

Neste projeto de mestrado a *camera obscura* será uma caixa negra onde tudo acontece, mas, apenas a partir do interior não existindo qualquer ação de luz a partir do exterior.

#### 1.4. Ótica geométrica

As gotículas de água suspensas na atmosfera e a formação do arco-íris, resultante da ação da luz, são um excelente exemplo introdutório ao estudo da ótica geométrica. Neste projeto, a dispersão de luz acontece de forma semelhante ao que acontece numa gotícula de água do arco-íris. Nas gotículas de água suspensas do arco-íris acontece a refração, a reflexão e a dispersão de luz de forma idêntica ao que ocorre no corpo das lentes de diversas geometrias e filtros de cor utilizados neste projeto.

A dispersão de luz através dos vários elementos óticos será a responsável pelas formas visuais, ou seja, pelo “desenhar com a luz” que acontece a partir do interior da caixa negra.

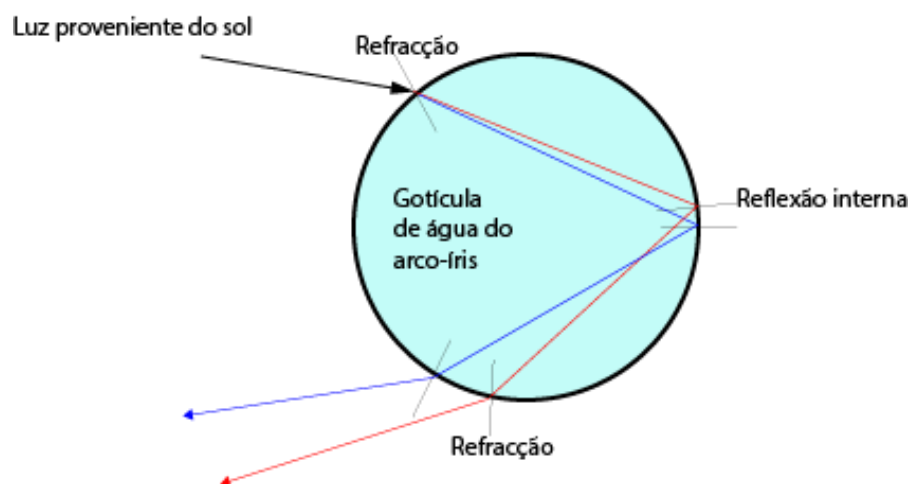


Figura 10 - Representação da ação da luz solar numa gotícula de água do arco-íris  
Fonte: Desenho adaptado de ([https:// physicsclassroom.com](https://physicsclassroom.com)) (Tom Henderson, The Physics Classroom)

A água é um elemento de densidade ótica diferente do ar. As ondas de luz refratam quando atravessam a fronteira de um elemento para o outro. É neste momento que acontece

uma diminuição da velocidade da luz devido à alteração da densidade entre o ar e a água o que causa, também, a mudança de direção do caminho da luz em relação à normal. Ao sair da gota, a luz volta a acelerar e afasta-se da normal (<https://physicsclassroom.com/class/refrn/Lesson-4/Rainbow-Formation>).

As matérias relacionadas com a ótica geométrica e trabalhadas neste projeto de mestrado são a reflexão, a refração e a dispersão ou a propagação da luz.

Foram reutilizadas lentes de optometria com diferentes graduações, ou seja, lentes com espessuras próprias. E, estas diferenças físicas, de cada lente utilizada, proporcionam diferentes direções na propagação da luz, o que virá a refletir-se em visuais distintos na tela da caixa negra, por via da reflexão e da refração que ocorrem tanto no exterior como no interior do corpo destas lentes.

#### A propagação da luz.

A luz propaga-se em linha reta (Figura 11), conforme comprovado nas observações de Leonardo da Vinci e Alhazen, feitas com o recurso à *camera obscura*, onde observavam a entrada da luz através de um orifício que projetava uma imagem dentro da câmara de forma invertida na parede oposta ao furo (Raynaud, D., 2021, p. 5,6). A luz propaga-se em linha reta enquanto as características do meio não se alteram. Como observado na figura 10, a luz apenas sofre desvios quando encontra um corpo de densidade diferente e o atravessa.

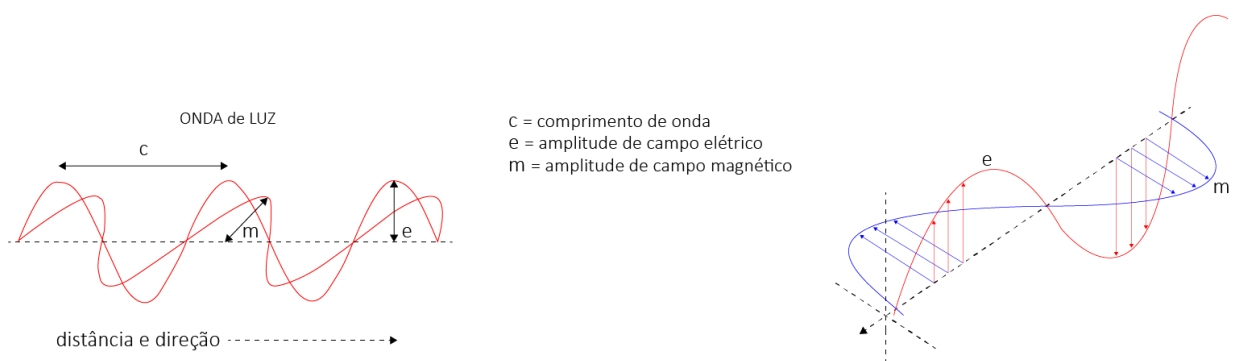


Figura 11 - Propagação da luz em linha reta, características e movimento oscilatório  
Fonte: (desenho adaptado do livro "Óptica", de Eugene Hecht (1998))

#### A reflexão.

A reflexão da luz (Figura 12) é o fenómeno que nos permite ver. Quando a luz embate numa superfície refletora, grande parte desses raios luminosos voltam para trás, chegando

aos nossos olhos. Este fenômeno permite-nos observar todos os objetos que não produzem a sua própria luz ou que não emitem luz, usualmente chamados de "corpos iluminados".

Ao contrário do que acontece na refração, quando a luz atinge uma superfície refletora muda de direção, mas continua no mesmo meio de propagação (Hecht, E. 1998).

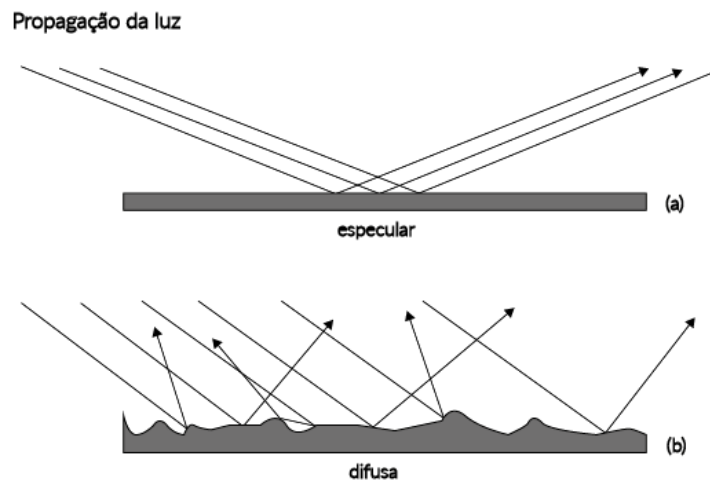


Figura 12 - (a) Reflexão especular. (b) Reflexão difusa

Fonte: (desenho adaptado tendo como referência ilustrações do livro "Óptica", de Eugene Hecht (1998)

A refração.

A refração da luz (Figura 13) consiste na mudança de velocidade da propagação da onda eletromagnética quando atravessa meios óticos diferentes. Tanto o ar como a água são meios óticos, mas com composição de massa diferentes. Quando acontece a refração, o comprimento de onda sofre uma alteração, mas a frequência mantém-se inalterada.

A observação de uma colher num copo de água que dá a ilusão ótica de que a colher fica partida ou deformada é um excelente exemplo de refração da luz (<https://infoescola.com/fisica/refracao/>).

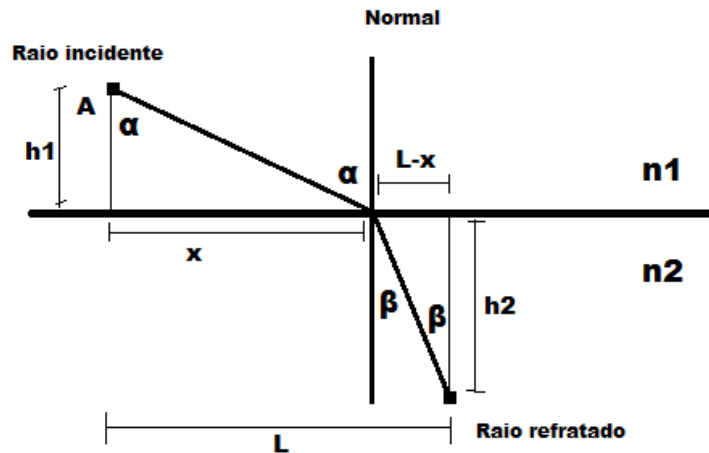


Figura 13 - A refração da luz. (n1) ar. (n2) água  
 Fonte: (<https://infoescola.com/fisica/refracao/>)

### 1.5. A refração da luz e a ilusão ótica

Existe um fenómeno da refração muito interessante de observar e que acontece, pontualmente, dentro de determinadas condições meteorológicas, mas que é pura ilusão de ótica, as usualmente chamadas de miragens.

As miragens estão no imaginário comum associadas ao deserto tórrido em que se avista aquilo que pode parecer água. Mas, e embora muito raro, no meio ambiente gélido também acontecem estes fenómenos de ilusão ótica proporcionados pela refração da luz. Estes fenómenos óticos são causados pelo desvio gerado na direção da propagação dos raios de luz refletidos por um objeto, o que origina a projeção de imagens desse mesmo objeto no nosso sistema ótico.

Em lugares de temperaturas muito elevadas ocorre o fenómeno chamado de miragem inferior, pois a imagem do objeto forma-se numa posição inferior à posição real do objeto (<http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbase/atmos/mirage.html>).

Conseguimos observar esse fenómeno no verão com altas temperaturas atmosféricas e quando estamos numa estrada de alcatrão, por exemplo, conseguimos observar a miragem, ou seja, a ilusão ótica.



Figura 14 - Ilusão ótica dum lençol de água com o reflexo dos veículos  
Fonte: (<http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbase/atmos/mirage.html>)

Na figura 14 percebemos a ocorrência da miragem inferior, onde há a imagem refletida dos veículos gerada numa posição inferior à posição real dos objetos.

Quanto mais próximo do solo, maiores serão as temperaturas das camadas de ar e, conseqüentemente, menor será a densidade do ar.

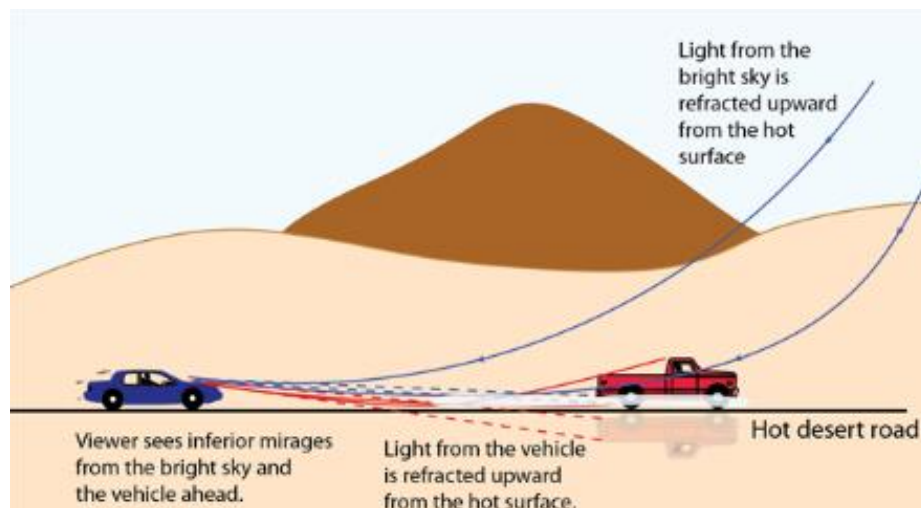


Figura 15 - Ilustração de miragem no alcatrão  
Fonte: (<http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbase/atmos/mirage.html>)

A diminuição da densidade provoca uma conseqüente diminuição no índice de refração do ar e, assim, a luz proveniente do objeto sofre sucessivas refrações, e sempre num índice decrescente de refração. A certa altura, os ângulos de incidência dos raios de luz entre as camadas de ar tornam-se maiores que os chamados de ângulos críticos, originando assim a reflexão total da luz (Figura 15). Assim, os raios de luz descrevem uma curva ascendente, fazendo surgir uma imagem do objeto numa posição inferior à posição real (<http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbase/atmos/mirage>).

## 1.6. Contemplação do belo

A contemplação dos fenômenos naturais, principalmente os fenômenos físicos da ótica são objeto de estudo que estimularam o desenvolvimento deste projeto pois, em grande parte, é o que se vai proporcionar com esta experiência; momentos de olhar livre, momentos de simples contemplação da luz e de visuais geométricos projetados.

A fotografia tem sido um dos motores para a continua procura de uma maior consciência e conhecimento da luz e, por consequência, o mundo experimental da física e da química.

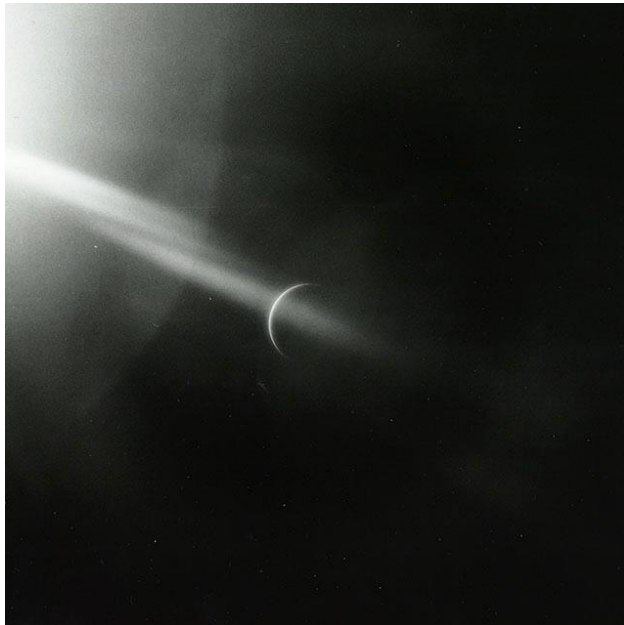


Figura 16 - Imagem da Terra iluminada pelo sol com *flare* na lente  
Fonte: NASA - UV PHOTO; EARTH\_AS15-99-13487

A contemplação ajuda a refletir. Aliás, a contemplação foi a base das grandes descobertas científicas da antiguidade e continua a sê-lo no tempo contemporâneo e moderno.

A contemplação do belo está diretamente relacionada com a natureza humana e é indissociável do mundo da física e da química, tanto pela natureza humana como pelas próprias características do planeta e universo visível (Figura 16).

## 1.7. A interatividade

“O espectador completa a obra de arte”, Marcel Duchamp (n.1887)

A citação acima, de Marcel Duchamp, representa um dos tipos de interatividade deste projeto, que é proporcionar a simples ação contemplativa dos visuais que são gerados a partir da caixa negra. Ou seja, e mais especificamente, existe um convite à contemplação embora o participante esteja habilitado a interagir, de acordo com a vontade, ou não, em participar, pois, a obra permitirá, também, a manipulação dos mecanismos óticos. Este projeto irá promover formas de “diálogo” entre objeto e indivíduo.

Segundo Steve Dixon, “Toda a arte é uma interação entre o espectador e a obra de arte e, portanto, todas as obras de arte são interativas no sentido em que uma negociação ou confronto ocorre entre o observador e o contemplado.” (Dixon, 2007, p.559). E, citando Andrew Benjamin, "a obra de arte não é tanto o objeto em si, mas o questionamento contínuo do objeto".

Olafur Eliasson tem vários trabalhos artísticos em que coloca a interatividade na perspectiva de que sem a simples contemplação, sem o participante ou indivíduo a obra de arte não acontece, não faz sentido a sua existência, ou seja, o artista não consegue comunicar a sua ideia, não encontra eco.

"Sometimes an underground movement is an illuminated bridge", 2020, é uma obra de arte *site-specific* de Olafur Eliasson que foi instalada num túnel de ligação entre o edifício Nancy and Rich Kinder e a Glassell School of Art no Museu de Belas Artes de Houston, nos Estados Unidos da América. A obra é composta por vinte esculturas angulares de luz que foram suspensas ao longo do túnel (<https://olafureliasson.net/>).

Esta obra de arte de Olafur Eliasson é um dos muitos exemplos da arte enquanto forma de questionamento do indivíduo sobre uma peça de arte e o seu propósito.

Especificamente, nesta obra é proposta uma tomada de consciência sobre o espectro luminoso, sobre a interação da luz artificial com a luz natural, e a forma como afeta a nossa percepção visual.



Figura 17 - Instalação “Sometimes an underground movement is an illuminated bridge”, 2020, de Olafur Eliasson  
Fonte: (<https://olafureliasson.net/>)

Nesta instalação (Figura 17) cada escultura contém três lâmpadas de mono-frequência dentro de uma estrutura de aço bipiramidal preta. As lâmpadas infundem o espaço com um comprimento de onda curto de luz amarela que reduz o alcance espectral dos espectadores a tons de amarelo e cinza. Ao limitar o espectro de cores perceptível a um único tom monocromático, a obra de arte aumenta a consciência dos visitantes, dotando-os de uma sensação de visão híper detalhada. Claraboias em dois pontos ao longo do túnel permitem que a luz natural do sol entre no espaço através de painéis de vidro roxo que filtram a luz e contrastam fortemente com a iluminação amarela. O efeito dessa intervenção muda constantemente, pois o brilho e a qualidade da luz solar variam de acordo com o clima, a estação e a hora do dia. Ao sair do espaço, os espectadores percebem o mundo em tons azulados – uma reação automática do olho à intensa estimulação ótica do ambiente amarelo. A obra de arte é uma investigação sobre a nossa percepção da cor como uma construção, convidando os visitantes a reconhecer o que acontece quando todo o espectro de cores é removido (<https://olafureliasson.net/uncertain/>).

## 2. Trabalhos de referência e inspiração

Na sequência do fascínio pela contemplação de fenômenos luminosos de grande escala foi feita uma abordagem ao estudo de alguns artistas procurando encontrar várias relações de conceito que orientassem a estruturação das ideias. Foram escolhidos dois.

### 2.1. James Turrel

É um artista completo, na perspectiva do muito que se quer conceptualizar neste projeto de mestrado. O trabalho de James Turrel percorre as questões da ilusão de ótica, como também, a contemplação direta da luz natural, ou seja, incide sobre a questão de como é que vemos a luz em contextos diferenciados.

A investigação do trabalho "Rodan Crater" (Figura 18) foi central para expandir a reflexão sobre os fenômenos luminosos de grande escala.



Figura 18 - Vista do cone de cinza vulcânica onde está instalada a obra de arte de grande escala "Rodan Crater", na região norte do deserto do Arizona, Estados Unidos da América  
Fonte: (<https://rodanrater.com/about/>)

Este projeto representa o culminar da longa pesquisa de vida do artista no campo da nossa percepção visual e psicológica, "Rodan Crater" é um ambiente controlado criado para a experiência e a contemplação da luz. Insere-se na tradição da *land art* americana, iniciada na década de 60, e exige uma grande viagem para visitar a obra no deserto remoto, em dias de céu noturno verdadeiramente escuro. Embora minimamente invasivo para a paisagem natural, internamente as cinzas vermelhas e pretas foram transformadas em espaços de

engenharia especial, onde os ciclos do tempo geológico e celestial podem ser experienciados, de forma direta (<https://rodencrater.com/about>).



Figura 19 - Crater Bowl, zona de observação a partir do interior da cratera de cinza de “formato tigela”  
Fonte: (<https://rodencrater.com/spaces/crater-bowl>)

Este projeto é uma verdadeira “porta de entrada” para a contemplação da luz. É um espaço subterrâneo com túneis e aberturas especiais (Figura 19) para a observação direta do céu, e foi pensado e desenhado para capturar a luz direta do sol, durante o dia, e os planetas e estrelas, à noite.

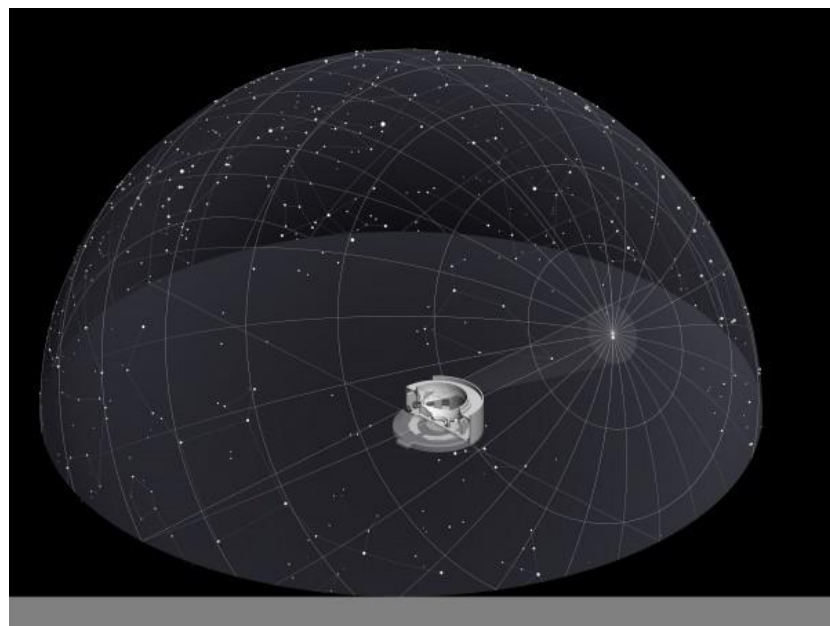


Figura 20 - Roden Crater, espaço sul  
Fonte: (<https://rodencrater.com/spaces/south-space/>)

Esta obra de arte de grande escala funciona como um observatório (Figura 20) a olho nu de fenômenos luminosos terrestres, à nossa escala, como também dos de grande escala, ou celestes, ambos previsíveis e em fluxo contínuo.

Construída para durar séculos, Roden Crater liga o físico e o efêmero, o objetivo com o subjetivo, numa experiência sensorial transformadora (<https://roden crater.com>).

## 2.2. Olafur Eliasson

O artista nórdico, Olafur Eliasson é uma verdadeira fonte de inspiração, pela quantidade imensa de trabalho desenvolvido e, em especial, pela “matéria-prima” que utiliza em grande parte do seu trabalho, o espectro luminoso.

Durante o desenvolvimento deste projeto encontrou-se, nos trabalhos de Olafur Eliasson, o fascínio pelos acontecimentos físicos de luz que acontecem à nossa escala, que fazem parte do nosso cotidiano. São verdadeiras obras de arte os trabalhos deste autor e que, pela sinceridade intrínseca, funcionam como que um “despertar de consciências”, tanto pelo ângulo de abordagem como pelos conceitos aplicados.



Figura 21 - Instalação “Beauty”, 1993 no PinchukArtCentre, Kyiv, 2011  
Fonte: (<https://olafureliasson.net/archive/artwork/WEK101824/beauty>)

O projeto “Beauty” (Figura 21) de Olafur Eliasson é um excelente exemplo de que a presença do indivíduo determina a própria existência da obra. Sem ninguém a olhar, a

determinado ângulo, para a incidência da luz branca na aspersão de água, nada "acontece", pois, o espectro visível presente não encontra recetor.

"Feel yourself seeing", (Eliasson, O., 1993) é uma obra de arte na forma de simples instalação onde estão presentes vários conceitos centrais como, luz, intensidade de luz, consciência do corpo, fenómeno natural, arco-íris, água e serenidade.

Ainda no campo do espectro eletromagnético, mas em trabalhos mais recentes de Olafur Eliasson, aprofundou-se o estudo de trabalhos em que ele aplica conceitos similares e emergentes neste projeto de mestrado.

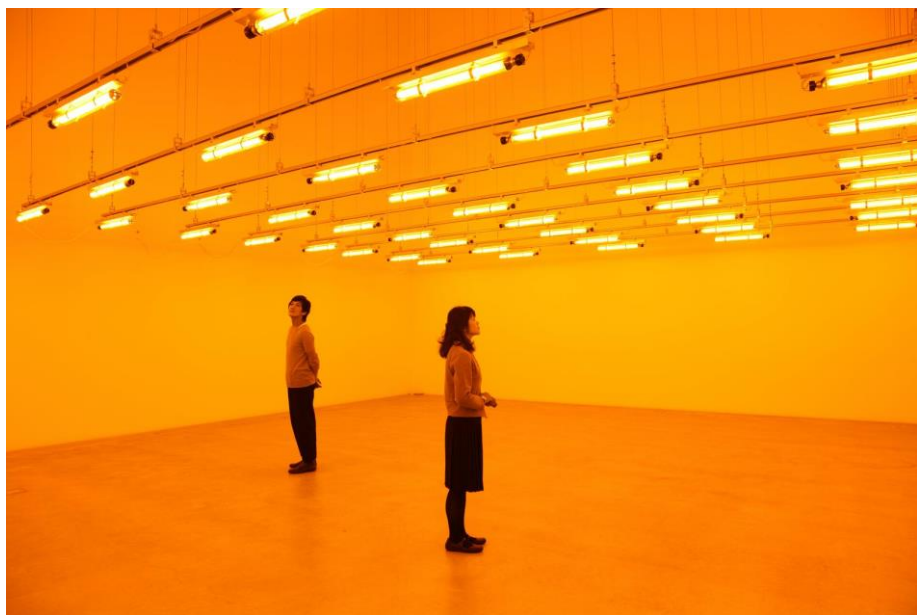


Figura 22 – "Room for one colour", 1997

Fonte: (<https://olafureliasson.net/archive/artwork/WEK101676/room-for-one-colour>)

No projeto "Room for one colour" (Figura 22), Olafur Eliasson explora o conceito das frequências do espectro luminoso. Montou lâmpadas de mono-frequência no teto da sala da galeria que emitem luz amarela condicionando assim a faixa espectral dos espectadores para amarelo e preto. Em reação a esse ambiente amarelo, os espectadores percebem, momentaneamente, uma pós-imagem azulada após deixar o espaço (<https://olafureliasson.net/archive/artwork/WEK101676/room-for-one-colour>).



Figura 23 – “Parallax planet”, 2014

Fonte: (<https://olafureliasson.net/archive/artwork/WEK109200/parallax-planet>)

Neste projeto, “Parallax planet” (Eliasson, O. 2014) interessam as questões relacionadas com a refração e a propagação do espectro visível ao contrário do que foi pesquisado no projeto anterior referido acima, “Room for one colour, 1997” (Eliasson, O. 1997) sobre a matéria das mono-frequências.

No projeto “Parallax planet” (Eliasson, O. 2014) encontrou-se um paralelo, na forma de peça de arte, da investigação feita, anteriormente, sobre o arco-íris e sobre a refração que acontece nas gotículas de água suspensas na atmosfera. É interessante aqui observar, de forma direta e no imediato, o fenômeno físico da refração, a mudança de direção da luz e respetivo desacelerar e acelerar que ocorrem quando a luz muda do meio por onde se propaga, “deformando” a imagem rececionada pelo nosso sistema ótico.

Um arco de água é visível através de uma grande esfera de vidro (Figura 23), que inverte a visão para que a água pareça originar-se de cima, disparar para baixo, desacelerar e depois "cair" de volta à sua fonte. As qualidades óticas da esfera também distorcem o foco, exceto o que o observador percebe estar diretamente no centro da esfera, esticando, dobrando e desfocando todos os elementos que aparecem nas bordas (<https://olafureliasson.net/archive/artwork/WEK109200/parallax-planet>).

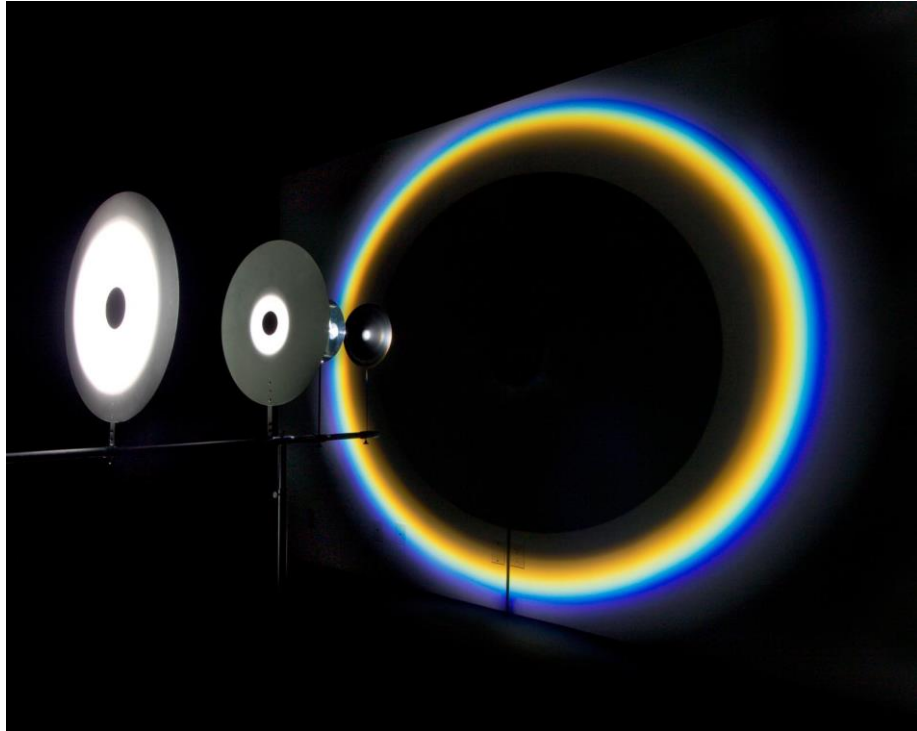


Figura 24 - "Spectral projection", 2005  
Fonte: (<https://olafureliasson.net/archive/artwork/WEK100703/spectral-projection>)

Na pesquisa do projeto "Spectral Projection" (Figura 24) encontrou-se informação relativa à propagação, reflexão, modelação de luz e projeção do espectro, questões fundamentais que ajudaram a moldar e a estruturar a planificação dos suportes de alguns dos mecanismos que irão operar no interior do objeto caixa negra.

Um holofote brilha num prisma de vidro. Uma série de três discos de metal protegem o prisma totalmente, exceto de um círculo de luz. Um quarto disco de metal projeta uma sombra na parede oposta que focaliza a projeção da luz como um estreito anel de cores espectrais (<https://olafureliasson.net/archive/artwork/spectral-projection>).

É a reflexão sobre a vasta obra de Olafur Eliasson que acabará por moldar e guiar este projeto e a conseqüente procura na criação e desenvolvimento de visuais que, dentro de certo conceito e sentido estético, serão retroprojetados e contemplados no plano da tela da caixa negra.

## CAPÍTULO DOIS – O PROJETO - PESQUISA, PRÁTICA E ANÁLISE

### 3. Pesquisa e Trabalho – A caixa negra e o espaço da ação

No início deste capítulo é feita uma breve referência à ideia inicial do projeto e daquilo que será uma instalação interativa numa sala, passando depois, à apresentação dos processos de estudo, pesquisa, trabalho e análise prática dos materiais e processos que pretendem materializar o “protótipo” concebido, enquanto alternativa à ideia original.

Houve uma “mudança de planos”, discutida atempadamente com os professores, devido a motivos relacionados com uma alteração da morada de residência e trabalho que surgiram antes de iniciarmos o 2º ano do plano de estudos deste mestrado.

Essa mudança traduziu-se em ficar geograficamente afastado da ESMAD, a cerca de 300 km de distância o que dificultava, em grande medida, o acesso aos equipamentos da faculdade o que acabaria por conduzir a ideia inicial do projeto a outro formato final, mas que se revelou de igual forma interessante.

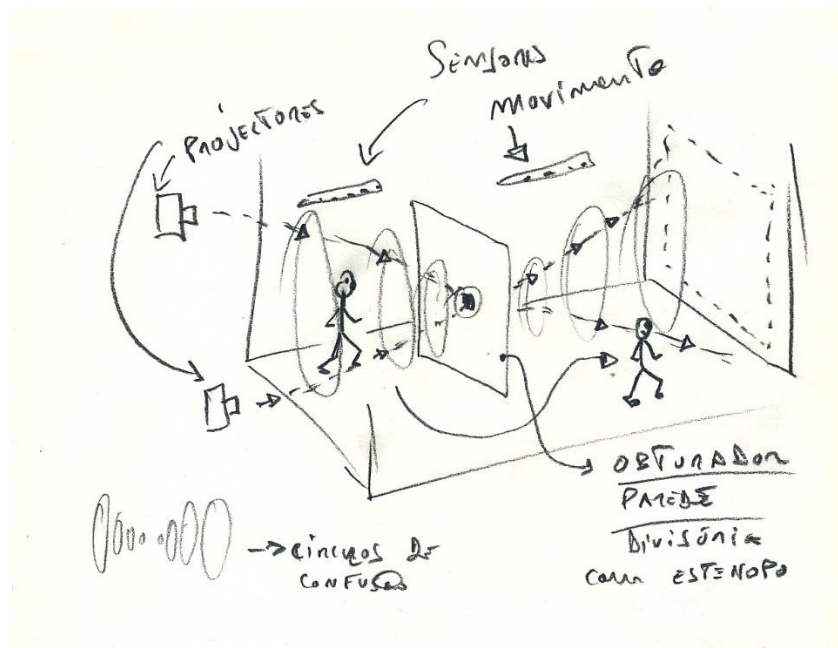


Figura 25 - Esboço original representativo da ideia inicial do projeto/instalação numa sala

A ideia original passava por desenvolver uma experiência imersiva no formato de uma instalação que iria funcionar no espaço de uma galeria, mas seria desenvolvida, testada e apresentada nos espaços da ESMAD, designadamente na Black Box.

A ideia passava por experienciar e contemplar fenômenos físicos do espectro luminoso no interior duma “camera obscura” (Figura 25) que, neste caso, seria criada na Black Box, onde os visuais seriam projetados numa tela opaca.

O nome do projeto não sofreu quaisquer alterações pois o conceito manteve-se, na sua essência. Ou seja, o espaço onde a ação acontece manteve-se uma caixa negra (*camera obscura*) com propagação de luz (espectro eletromagnético).

De igual forma, os visuais serão idênticos e projetados num plano oposto à origem dos raios luminosos. Mas certas alterações tiveram de ser feitas.

Por exemplo, na versão atual do projeto, os visuais luminosos são observados, a partir do exterior e através de uma tela translúcida. Outras alterações e ajustes aconteceram no decorrer do processo criativo, o que é encarado de forma natural e desafiante.

### 3.1. Análise e prática

Passando, assim, para a opção de construir uma caixa, aconteceu uma significativa alteração em termos da escala física do espaço onde decorre a ação, mas não em termos conceptuais. Manteve-se a pesquisa centrada no mesmo tipo de meio artificial de emissão de luz e nos mesmos conceitos de ótica geométrica, embora com outros indicadores na equação associadas à escala do espaço da ação, como a real viabilidade, design funcional, etc.

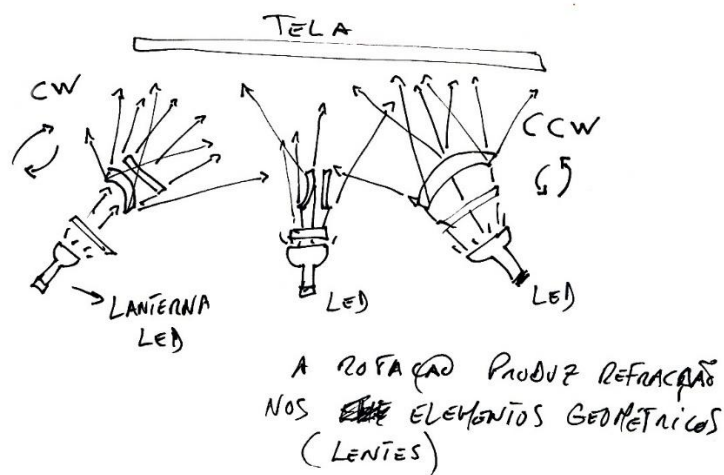


Figura 26 - primeiro esboço da posição dos mecanismos em relação à tela

A ponderação foi sempre avaliar, desde o início, a dimensão física da caixa e respectivos mecanismos no seu interior, mas sem nunca deixar que, nesta fase inicial, a questão das medidas exatas da caixa condicionassem o processo criativo, a experimentação dos visuais, o posicionamento dos mecanismos, etc. Apenas se manteve a atenção em tentar ir percebendo como tudo iria funcionar num espaço de ação tão reduzido. Mas, nesta fase, o mais importante era a experimentação (Figura 26).



Figura 27 - Primeiro ensaio sobre espaço físico da ação e ajuste da nitidez de imagem

De início os ensaios das projeções de luz (Figura 27) foram feitos contra a parede dispondo luzes e lentes em cima de uma mesa, de forma a ir ganhando consciência do espaço físico que seria necessário dentro da caixa, onde a ação iria decorrer. Mas, nesta fase, a estética e a nitidez da imagem projetada era a principal prioridade.

### 3.2. Conclusão e ajustes

Para ir percecionando as dimensões aproximadas da caixa, foi-se ajustando o “foco”, ou seja, a nitidez de imagem dos visuais projetados. Neste mecanismo simples o “diafragma” é definido pelo ajuste do diâmetro da cabeça do refletor da lanterna de forma a otimizar a profundidade de campo. Para tal, otimizou-se a relação da distância entre o feixe de luz, a geometria do elemento ótico da lente oftálmica e a distância de ambos até ao plano de projeção da imagem, neste caso a tela translúcida (Figura 28).

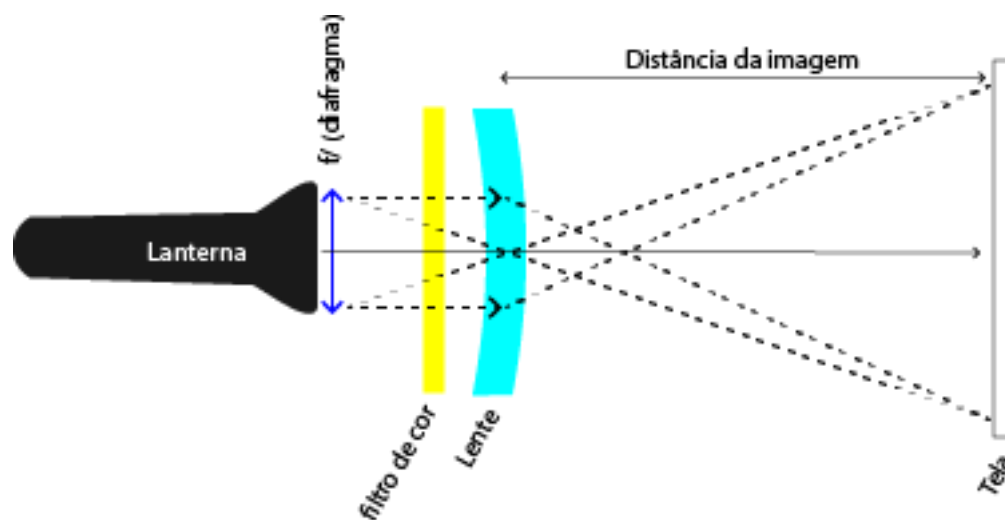


Figura 28 - Esquema representativo do ajuste da relação de distância entre os elementos necessários para a formação de imagem nítida sobre a tela

#### 4. Pesquisa e Trabalho – Tela, o plano onde se projeta a ação

O plano de projeção da imagem, inicialmente, foi idealizado como sendo uma parede opaca numa sala ou galeria. Ao ter de se adaptar a dimensão física do projeto tudo foi repensado sobre o modo de observação das imagens, chegando a pensar-se na hipótese de uma “caixa-observatório” onde existiria um visor ocular para vislumbrar os visuais, e os próprios mecanismos, no seu interior. Mas, durante a investigação, optou-se por outra abordagem, a de ter uma caixa que emite os visuais, a partir do seu interior, sendo estes visionados no plano de uma tela translúcida, a partir do exterior.

##### 4.1. Análise e prática

O formato e o material da tela foram estudados em consequência da análise prática anterior e tendo em linha de conta o que será a dimensão física da caixa e o espaço onde a ação decorre, ou seja, a relação de distância entre os vários mecanismos que operam no seu interior e os respetivos formatos, volume ou dimensão.

Conforme essas relações de distância entre os vários mecanismos iam sendo estudadas através de projeções de luz na parede de ensaio (Figura 29) foi-se idealizando o formato e as dimensões necessárias para a tela.



Figura 29 - Registo fotográfico das primeiras formas visuais projetadas sobre a parede de ensaio

O formato da tela acabaria por ficar, de forma quase natural, definido como panorâmico e ao longo da quase totalidade da face frontal da caixa. Inevitavelmente, teve de ser criada uma “moldura” de suporte à própria tela e posicionada consoante a altura que viria a ser definida para os suportes das luzes e restantes mecanismos.

A procura do tipo de material e textura ideal para a tela de projeção foi ponderada, uma vez mais, tendo como prioridade conseguir a melhor nitidez de imagem final.

Durante o desenvolvimento do projeto, a grande maioria dos ensaios de projeção foi feita sobre papel vegetal esquiço, conhecido como papel de arquiteto, devido às boas características de densidade e respetivo índice de refração da luz. Era um material já conhecido no contexto da construção de visores *pinhole* para projetos anteriores de oficinas de fotografia estenopeica.

As várias gramagens e acabamentos disponíveis fazem deste papel um bom suporte para vários tipos de aplicações. Após alguns testes, a gramagem ideal para a aplicação neste projeto foi de 55g/m<sup>2</sup>, tendo em conta a intensidade de luz utilizada, e de acabamento liso por apresentar melhores resultados de nitidez de imagem.



Figura 30 - Papel esquiço de 55g/m<sup>2</sup> utilizado nos primeiros ensaios de retroprojeção de imagem

Este papel (Figura 30) permite uma passagem da luz de forma pouco irregular o que proporciona boa nitidez. Os meios transparentes possibilitam a passagem da luz sem que ocorra dispersão (Figura 31), mas para este projeto a ideia é percebermos visuais luminosos retroprojetados que colidem com uma tela pelo que, necessariamente, terá de ser um meio translúcido que permita uma boa “gestão” da dispersão e refração da luz. Tem de ser um meio-termo entre o opaco e o transparente.

A tela será, ou funcionará, como mais um dos vários meios óticos que constituem este projeto pelo simples facto de ser um corpo, ou neste caso, um meio ótico translúcido por onde a luz se propaga (Figura 31).

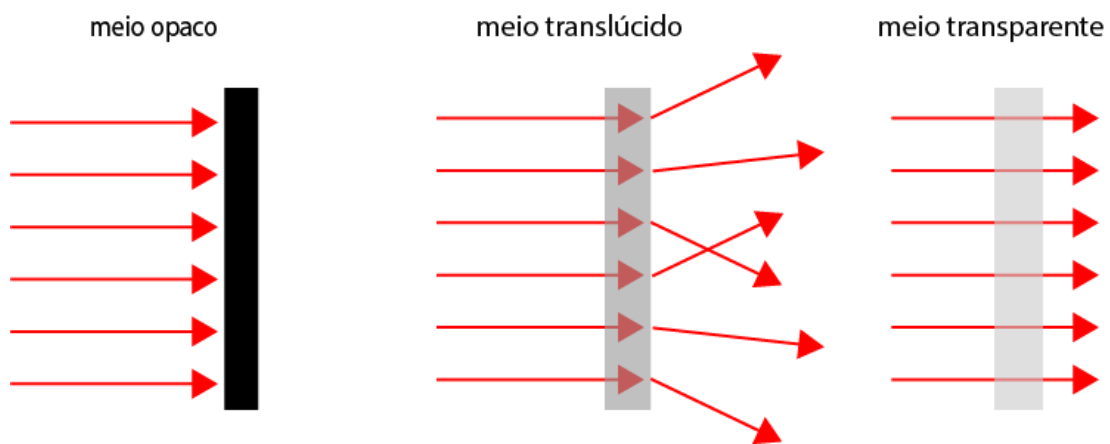


Figura 31 - Propagação da luz por diferentes meios de transmissão  
Fonte: desenho adaptado de (Schwartz,S.(2019) Geometrical and Visual Optics: A Clinical Introduction. 3rd. Ed., McGrawHill)

#### 4.2. Conclusão e ajustes

Os problemas maiores em utilizar o papel esquiço é a sua textura de fibras naturais que apresentam ocorrências de variação cromática na imagem final para além de provocar uma quantidade ainda considerável de dispersão de luz, tornando a imagem pouco nítida quando observada mais de perto.

Outro facto considerado menos positivo é a sua fragilidade no manuseamento ou transporte pois o papel “parte” muito facilmente acabando por deixar de ser uma superfície lisa e por oxidar mais facilmente com o tempo, para além de alterar a sua cor devido a longas exposições à luz.

Após estas análise, ensaios e considerações optou-se por explorar outros materiais para tela de projeção.

Existem empresas especializadas em matéria de telas de projeção, mas, ao mesmo tempo, era importante manter uma lógica da reutilização de materiais neste projeto.

Passou-se, então, a direcionar as observações quotidianas em materiais translúcidos procurando pelo *match* perfeito. Acabou por se constatar, um dia durante um banho, que a trivial cortina do duche se apresentava como forte candidata ao papel de tela translúcida para retroprojeção. E, no sentido de assegurar que seria um bom material para reutilizar, acabou por se encontrar imensa informação na *web* que confirmou as boas características da cortina de duche enquanto tela de projeção pelo grau de baixa opacidade e reduzida dispersão de luz.

Outro facto interessante de constatar foi a elasticidade e a cor branca (Figura 32), características essas muito importantes nas telas utilizadas em retroprojeção.



Figura 32 - Pormenor de retalho da cortina de duche e imagem da aplicação na caixa negra

## 5. Pesquisa e Trabalho – Fontes de luz

Outro dos desafios foi a escolha por uma fonte de luz artificial que fosse prática e fácil de instalar para iniciar os ensaios, o mais breve possível. De referir que, na ideia original, as fontes de luz, embora também artificiais, seriam de dimensão e potência maior com alimentação elétrica. Para este projeto, muito pelo seu cariz de protótipo e escala reduzida, optou-se pela pesquisa de luzes que fossem portáteis e alimentadas a bateria.

A pesquisa direcionou-se, muito rapidamente, para as lanternas devido ao seu tamanho reduzido e por não necessitarem de estar ligadas à corrente elétrica, e tendo linha de conta o design da caixa.

Pesquisaram-se lanternas pelo tipo de lâmpada, temperatura de cor, consistência e estabilidade do feixe de luz, como também, por lanternas munidas de opções como, por exemplo, a possibilidade de *zoom* da cabeça refletora das lanternas.

### 5.1. Análise e prática

A temperatura de cor é uma característica da luz visível, um termo do mundo da física. É uma sensação de cor produzida por determinada fonte de luz, é a temperatura que um corpo negro irradia conforme é aquecido e tem como unidade de medida os graus Kelvin (K). Um exemplo visual que nos é mais familiar é o aquecimento do ferro quando é forjado, em que a cor vai mudando conforme esse corpo aquece começando por irradiar a cor vermelha, passando pelo laranja, branco, chegando até ao azul, antes de entrar em fusão. Esta relação entre a medição da temperatura de cor e o aquecimento dum corpo negro costuma confundir-nos. Podemos achar que as cores mais “frias” possuem temperaturas mais baixas, mas é exatamente ao contrário. Por exemplo, embora a luz azul seja considerada “fria”, tem um valor em graus Kelvins superior à luz amarela, considerada “quente”. Ou seja, a temperatura de cor não tem uma relação direta ou de igualdade com a temperatura física do corpo que emite a luz, é apenas uma sensação visual. Quanto mais alta a temperatura em graus kelvin, mais “fria” ou clara é a tonalidade da luz (Norman, Thomas L., 2017).



Figura 33 - Escala da temperatura de cor da luz em graus Kelvin  
Fonte: (<https://institutoprincipia.org>)

Tendo como referência a luz solar, a nossa principal fonte de luz, conseguimos perceber as variações de temperatura de cor, durante o decorrer do dia (Figura 33). Por exemplo, ao meio-dia a luz do sol é mais branca ou “fria” e é uma das grandes referências na fotografia com os seus 5500K, usualmente designada de "luz do dia". Este é um valor de referência dos flashes eletrónicos de estúdio ou dos *speedlights* que se encaixam nas câmaras fotográficas, entre outras referências de iluminação.

Por sua vez, no início da manhã e ao final da tarde, a luz emitida pelo sol dá-nos uma sensação de cor mais “quente”, com valores medidos em graus Kelvin à volta dos 4000k.

A temperatura de cor da luz emitida pelas lanternas influenciará a cor final dos visuais projetados, principalmente porque será adicionada a densidade dos filtros de cor.



Figura 34 - Os três tipos diferentes de lanternas utilizadas nos ensaios de luz

Para este projeto foram feitos ensaios com lanternas de luz de xénon, de krypton e de LED de forma a tentar perceber e definir qual a temperatura de cor ideal (Figura 34), qual a potência de luz e qual a lanterna que consegue manter um feixe de luz consistente, com pouca flutuação de intensidade durante mais tempo, tendo em conta que estarão a ser alimentadas apenas por pilhas alcalinas de 1,5v.

## 5.2. Conclusão e ajustes

Tendo como linha orientadora a temperatura de cor emitida pelas lanternas a escolha recaiu sobre a luz de LED devido à temperatura de cor mais “neutra” e mais aproximada à “luz do dia”, comparativamente com as restantes (Figura 35).

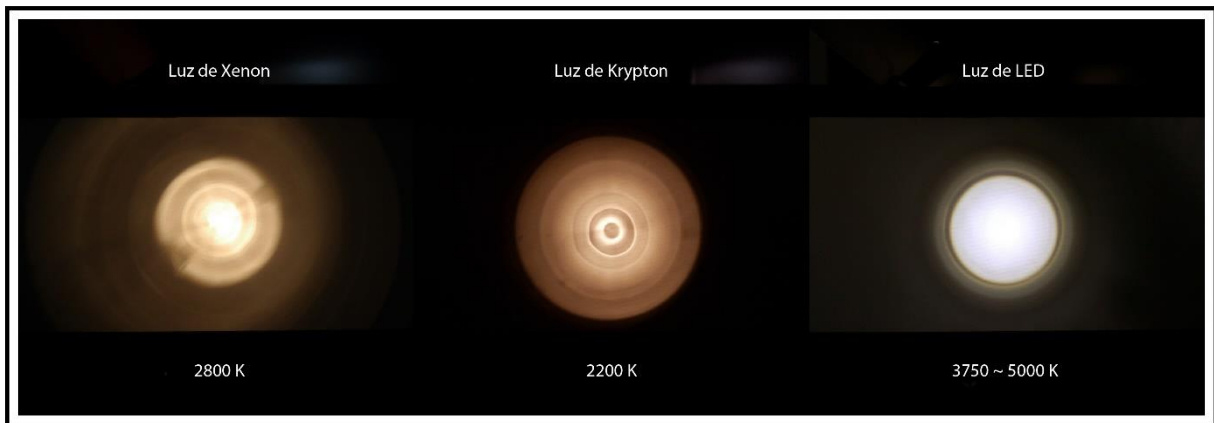


Figura 35 - Retroprojeção de luz sobre a tela. Diferenças de temperatura de cor entre as três lanternas

A potência da lâmpada foi um facto importante na escolha da lanterna, mais até pela qualidade e consistência da luz e não tanto pelo alcance pois estarão instaladas numa caixa de dimensões reduzidas e a curta distância dos restantes mecanismos óticos.

Os 80 lumens da lâmpada de LED são suficientes e facilmente superam os 14 lumens da lâmpada de Xenon ou os 2 lumens da lâmpada de Krypton das respetivas lanternas utilizadas nos ensaios (a informação sobre a potência das lâmpadas foi retirada do site dos respetivos fabricantes).

Relativamente à frequência e estabilidade do feixe de luz, enquanto ligadas, foi feita uma observação direta às três lanternas onde se concluiu que a lanterna com luz de LED manteve a melhor prestação ao longo da sua atividade e uma distribuição de luz mais homogenia no foco (Figura 35).

## 6. Pesquisa e Trabalho – Orquestra de luz e cor, a modelação dos visuais

### 6.1. Análise e prática

Tomada a decisão sobre o tipo de lanterna a utilizar como fonte de luz principal do projeto, prosseguiu-se o ensaio sobre qual a distância e o ângulo das lanternas em relação ao plano da tela. Nessa interseção ficam os mecanismos de rotação dos elementos óticos e, portanto, as medidas em altura serão tidas em conta, também.



Figura 36 - Primeiros ensaios de orquestração dos vários meios óticos e estudo de medidas de distâncias e altura entre os vários mecanismos

Os primeiros ensaios foram desenvolvidos construindo os suportes das lentes, filtros, luzes e tela com recurso a uma parafernália de objetos domésticos que estavam mais à mão (Figura 36). Desde os tubos de cartão do papel higiénico a molas da roupa, latas usadas, cartolina, passando por pedaços de madeira e desperdício de calha elétrica, tudo teve a sua utilidade, todos desempenharam o seu papel de servir o propósito principal desta fase de ensaio do projeto relativa ao estudo de medidas, distâncias e alturas entre mecanismos óticos e a tela de projeção, de forma a perceber como tudo iria funcionar.

Para controlar o formato dos feixes de luz das lanternas foram feitos testes de modelação utilizando cartolina preta e chapa reutilizada a partir de latas de bebida.

Com a reutilização destes materiais, procurou-se um substituto aos conhecidos cones modificadores de luz, vulgarmente chamados de *snoot*, acessórios moduladores utilizados em estúdios de imagem.

Com a cartolina preta consegue-se controlar o feixe de luz por ser um material opaco e pela textura que absorve a maioria dos raios de luz, controlando de forma eficaz a dispersão de luz, formando um foco bem delimitado e com arestas bem definidas.

Por sua vez, com a chapa reutilizada a partir de uma lata de bebida, os resultados demonstram-se diferentes, mas, igualmente interessantes. O foco projetado apresenta arestas mais suaves e com uma gradação significativa entre o claro e o escuro, devido à textura refletora da chapa. Apresenta, à semelhança da cartolina preta, características de opacidade muito interessantes para modelação de luz, permitindo um bom controlo da orientação, da concentração e do formato do foco de luz.



Figura 37 - Estudo sobre a concentração do foco para modelação de luz

Com estes dois tipos diferentes de materiais opacos de níveis distintos, a cartolina e a chapa, conseguiu-se ensaiar o foco e a direção da luz com sucesso (Figura 37).

As cabeças refletoras destas lanternas de LED fazem um pequeno movimento de zoom no foco, embora este último não se tenha mostrado relevante na modelação do formato do foco de luz porque a distância da lanterna à tela é muito reduzida e o ajuste do zoom acaba por evidenciar o circuito do próprio LED na tela de projeção.

Em contrapartida, quando a lanterna está sem o cone modificador de luz, as áreas que projeta à volta do seu foco são muito interessantes de explorar quando interagem com outros elementos óticos, como as lentes.

As lentes.

Os elementos óticos principais utilizados neste projeto são as lentes oftálmicas, gentilmente cedidas pela Óptica da Estrela (Lisboa). Dando continuidade à lógica deste projeto, o de reutilizar materiais para a construção física da caixa, suportes, mecanismos e respetivos elementos óticos, foi apresentada a ideia do projeto questionando se teriam lentes ou outros meios óticos disponíveis para reutilização, ao invés de os descartarem.



Figura 38 - Lentes oftálmicas por cortar cedidas pela Óptica da Estrela

As lentes cedidas para este projeto foram várias e de geometrias óticas distintas (Figura 38), para além de outras lentes coloridas para óculos de sol. Tanto as lentes graduadas como as de óculos de sol são de vidro e, a condição das mesmas, ainda por cortar, revela-se perfeito para utilização pelo seu formato circular, ideal para a formação das imagens.

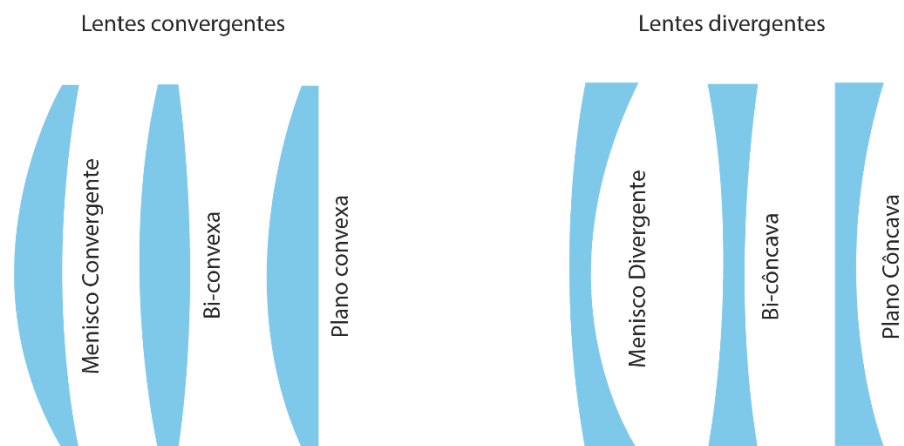


Figura 39 - Formas de lentes oftálmicas. As utilizadas neste projeto são menisco divergentes  
 Fonte – desenho adaptado de <https://luzerneoptical.com/uncut-lenses>

A geometria das lentes graduadas utilizadas é de superfície tórica e de superfície esférica (Figura 39). Estas são, geralmente, as lentes que corrigem o astigmatismo e pertencem à categoria das lentes divergentes, menisco divergente ou também conhecidas como lentes negativas (Schwartz, 2019, p. 52).

Foram, também, feitos testes com lentes já cortadas, ou seja, com o formato de determinada armação de óculos o que, por sua vez, e estando as lentes em rotação contínua, condicionava o formato final dos visuais projetados na tela.

#### A direção de luz

Para perceber os níveis de refração e propagação da luz através das lentes, foram feitos uns primeiros testes rodando esses mesmos elementos óticos em três graus diferentes de forma a avaliar, por observação direta, a qualidade da nitidez de imagem e aproveitando, aqui, para ajustar as distâncias entre todos os mecanismos óticos e a tela.

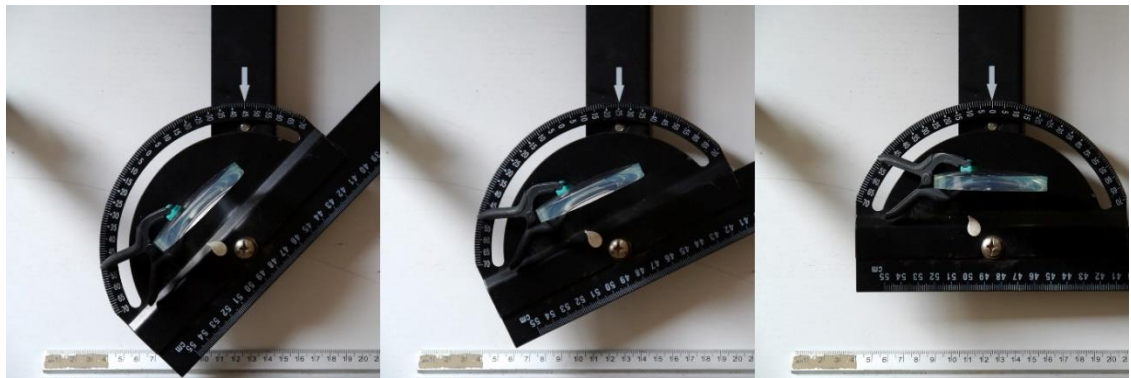


Figura 40 - Estudo da refração e reflexão da luz em áreas distintas da superfície das lentes utilizadas neste projeto. A seta indica a direção e origem da fonte de luz

Neste estudo (Figura 40) consegui observar que as passagens dos raios de luz pelo centro ótico da lente não sofrem quaisquer desvios ao contrário dos raios de luz que atravessam zonas mais próximas das extremidades das lentes, divergindo ou convergindo consoante a superfície da geometria ótica pois “...é aqui que a refração acontece, nas superfícies das lentes” (Schwartz, 2019, p. 15). As lentes irão estar em rotação, mas a origem da luz vem de uma fonte com posição fixa. Quer isto dizer que a refração acontece nas duas superfícies da lente, quando a luz “entra” e quando “sai” (Figura 41) alternando, assim, os visuais projetados na tela, mediante o ângulo de rotação da lente. A reversão da direção da luz nas superfícies da lente é causada pela alternância programada do sentido de rotação das lentes.

Cada uma das superfícies geométricas de uma lente de formato *meniscus* têm potências de dioptrias distintas. Nas lentes divergentes, ou lentes negativas (utilizadas neste

projeto), a superfície traseira tem potência maior que a superfície frontal. Nas lentes convergentes, ou positivas, acontece o contrário (como referido em Schwartz, 2019, p.52).

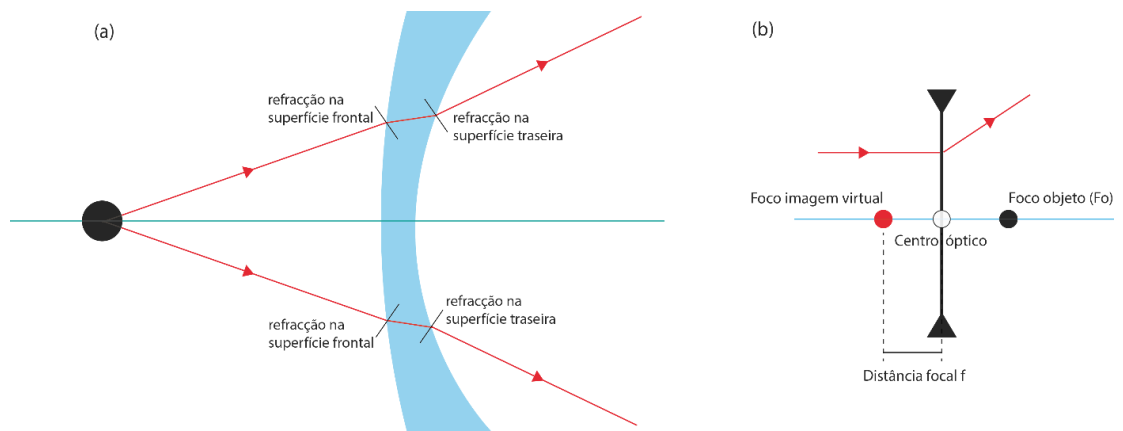


Figura 41 - Representação do tipo de lentes espessas utilizadas no projeto. Nestas lentes acontece dupla refração (a) e formam-se pontos focais de imagem virtual e imagem real em lados opostos da lente (b)  
 Fonte: desenho adaptado de (Schwartz,S.(2019) Geometrical and Visual Optics: A Clinical Introduction. 3rd. Ed., McGrawHill)

O outro objeto óptico utilizado no grupo de elementos que estarão em rotação, em frente ao feixe de luz das lanternas, é a lente de *Fresnel* .

A lente de *Fresnel* foi inventada pelo físico francês Augustin-Jean Fresnel (n.1788) e continua, a título de exemplo, a ter aplicação atual nos faróis costeiros para sinalização aos navios. No campo da física e da ótica, Fresnel desenvolveu fórmulas para explicar a reflexão, refração, dupla refração e a polarização da luz refletida a partir de elementos transparentes (<https://micro.magnet.fsu.edu/optics>).

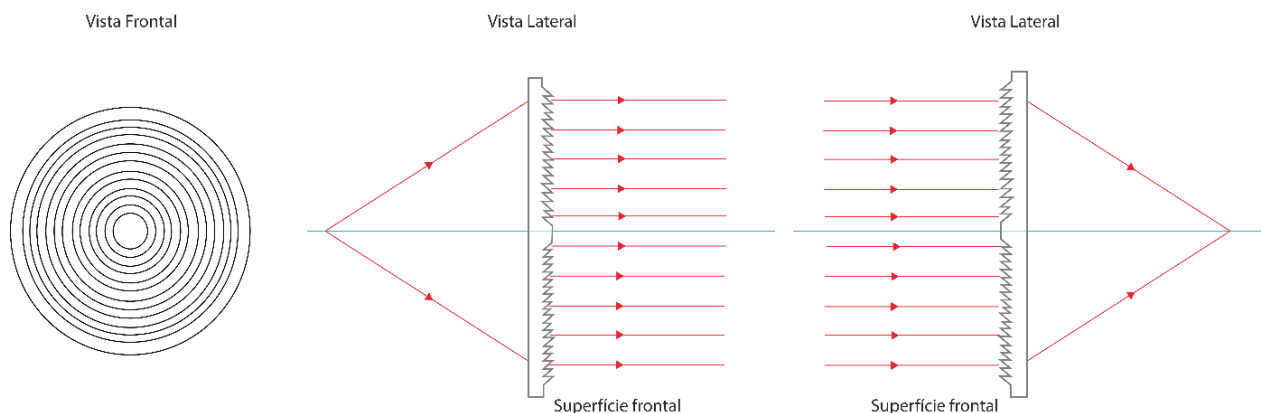


Figura 42 - Representação de vista frontal e vista de corte transversal da lente de Fresnel  
 Fonte: desenho adaptado de <https://www.edmundoptics.de/knowledge-center/application-notes/optics/advantages-of-fresnel-lenses/>

Neste projeto são utilizadas pequenas partes recortadas de lupas de fresnel, as vulgares lupas de leitura em formato folha e são reutilizadas, também, as lentes *fresnel* das cabeças *zoom* dos flashes *speedlight*.

As características óticas interessantes deste tipo de lente *Fresnel*, utilizadas no projeto, é o facto de concentrarem a luz direcionando os raios, paralelamente, (Figura 42) produzindo imagens nítidas a curtas distâncias focais. Isto acontece devido aos pequenos prismas que compõem a superfície da lente (<https://edmundoptics.de/>).

O movimento de rotação da lente *fresnel* em relação ao feixe de luz das lanternas origina “deformações” nos visuais projetados no plano da tela devido às características de ampliação de imagem deste tipo de construção ótica. O desvio dos raios luminosos aumenta ou diminui consoante a posição do plano da lente em relação ao ângulo de incidência da luz.

## Cor

A estética dos visuais projetados ganha outras perspectivas e interpretações com a adição de filtros de cor alterando a temperatura de cor nativa da luz de LED utilizada neste projeto.



Figura 43 - Filtros de correção de cor utilizados em fotografia, adquiridos em segunda mão

Para esta fase experimental sobre as dinâmicas da cor, e uma vez mais, reutilizaram-se elementos óticos que, neste caso, foram filtros de correção de cor utilizados em fotografia. Alguns desses filtros foram adquiridos em locais de venda de equipamento e acessórios para fotografia e cinema, outros oferecidos, tudo material com bastante uso e idade, tudo da era analógica (Figura 43). O material dos filtros de cor utilizados é ainda em vidro, o que agrada, particularmente, pela boa aferição de cor.

A cor está presente no nosso quotidiano e ajuda a perceber certas condições de luz, o contraste dos objetos, o recorte nas texturas, superfícies, etc. Quando se aborda a natureza da cor, estará sempre presente a natureza da luz e a sua propagação como, por exemplo, no estudo do arco-íris referido, anteriormente.

Conforme refere Lopes, J. M. Brisson (2003), na base de qualquer teoria da cor estão os fenómenos associados à cor e à forma como as cores são percebidas e distinguidas. A linguagem corrente emprega termos como cor, cor pura, cor saturada, luminosidade e brilho de uma cor com sentidos bastante latos. O termo cor pretende distinguir entre azul, verde, amarelo, etc. A saturação da cor, por vezes denominada pureza da cor ou simplesmente saturação, indica o afastamento da cor observada de um cinzento com a mesma intensidade luminosa. Uma cor vermelha ou azul puras são cores altamente saturadas, enquanto um rosa e as cores denominadas de pastéis são cores pouco saturadas.

A luminosidade, conforme continua e conclui Lopes, J. M. Brisson (2003), é a intensidade da luz refletida pela superfície dos objetos, enquanto, para marcar a diferença, o brilho é a quantidade de luz emitida pelas superfícies de objetos luminosos como o Sol ou uma lâmpada. Esta diferenciação não é exata na língua portuguesa pois, por exemplo, é comum falar do brilho de um espelho que, na verdade, é um objeto refletor perfeito.

Neste projeto, especificamente, são estes os conceitos base com os quais se trabalha, de forma livre e criativa; A cor, a luminosidade, o brilho, os reflexos e a forma como as cores são percebidas e distinguidas.

## 6.2. Conclusão e ajustes

Os três elementos óticos abordados no ponto anterior; as lentes espessas, as lentes *Fresnel* e os filtros de cor ficarão, numa primeira fase deste projeto, dispostos num suporte circular e muito próximos uns dos outros (Figura 44). Serão três grupos de três elementos óticos e cada um destes grupos terá um mecanismo de rotação dedicado e controlado via Arduíno.



Figura 44 - Aspeto de pormenor da montagem dos elementos óticos e imagem do suporte circular que ligará ao mecanismo de rotação dedicado

Para os cones moduladores de luz, serão utilizados dois materiais de construção, a cartolina e a chapa, reutilizada das latas de bebidas (Figura 45). Ambos os materiais revelaram características ímpares e eficazes para modelação de luz conseguindo assim uma maior diversificação de formas visuais projetadas na tela.



Figura 45 - Construção do cone modulador de luz reutilizando a chapa de uma lata

A par dos três conjuntos de elementos óticos falados acima, existirá uma lanterna a providenciar luz para cada um desses conjuntos. Cada uma das três lanternas ficará instalada num suporte independente e posicionadas a diferentes ângulos, relativamente ao plano da tela. O respetivo conjunto de elementos óticos ficará colocado entre a lanterna e a tela.

## CAPÍTULO TRÊS – CAIXA NEGRA, A MONTAGEM FINAL

### 7. Componentes

O artefacto interativo é composto por:

- . Três lanternas de LED alimentadas por baterias alcalinas de 1,5v
- . Três motores de passo modelo 28BYJ48 com módulo driver ULN2003
- . Uma placa de alimentação 5v para os motores
- . Lentes de optometria, filtros de correção de cor e lentes *fresnel*
- . Tela de projeção
- . Uma placa Arduíno Uno R3
- . Um sensor de gestos APDS-9960
- . Um joystick KY-023

### 8. Design

A sequência dos vários estudos anteriores e respetivas análises práticas permitiram definir o formato, as dimensões finais e os aspetos funcionais da caixa negra. Optou-se por deixar fluir a sequência do processo de idealização física da instalação por uma forma mais experimental pois, e embora se soubesse que no final o projeto ficaria “confinado” a uma caixa de pequenas dimensões, nunca se permitiu que esse facto se tornasse central à evolução do projeto, ou que de forma alguma a dimensão física da caixa condicionasse o processo criativo da modelação dos visuais.

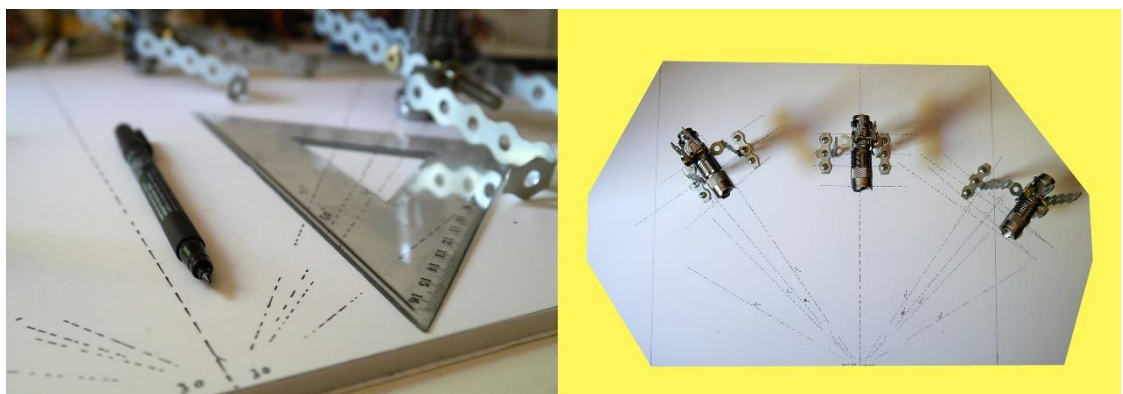


Figura 46 - Estudo e definição dos ângulos de incidência da luz à tela

Embora o estudo para a modelação dos visuais projetados estivesse diretamente relacionada com a distribuição física e orientação dos vários mecanismos e elementos óticos (Figura 46), acabaria por ser esse mesmo espaço físico que se adaptou à ação a decorrer no interior da caixa e não um processo inverso. Nunca se quis colocar, logo à partida, quaisquer “condições” ao processo criativo.

### 8.1. Análise e prática

Passando, então, à montagem final da caixa negra, dedicou-se algum tempo ao estudo dos materiais para a sua construção. Foram pesquisados materiais que fossem leves mas suficientemente robustos para fixar vários mecanismos no seu interior e que garantissem boa estabilidade.

Para além da estética final da construção, foi importante ter em linha de conta a sua funcionalidade e portabilidade pois, de antemão, era sabido que se teria de desmontar e transportar para a futura demonstração e apresentação. Logo, o objeto construído seria munido de características modulares.

Os materiais mais conhecidos como boa escolha para a estrutura da caixa eram o acrílico, o alumínio e a madeira. Mas, após uma visita a um armazém de acrílicos surgiu outro material, o qual não tinha sido ainda equacionado, o PVC expandido, que acabou por ser a escolha definitiva.

Relativamente aos materiais para os suportes, tanto dos mecanismos de rotação dos elementos óticos como das lanternas, procurou-se por uma solução que fosse fácil de adaptar e que fosse expansível, que permitisse, por exemplo, um ajuste fácil das posições dos mecanismos em altura. Foram consideradas as calhas de alumínio com furação e parafusos de ajuste, mas revelou-se um sistema de investimento elevado. Durante as pesquisas, e utilizando palavras-chave adequadas ao que se foi idealizando durante o processo de construção, acabaria por se identificar a fita metálica perfurada que pareceu, logo à partida, a solução perfeita.

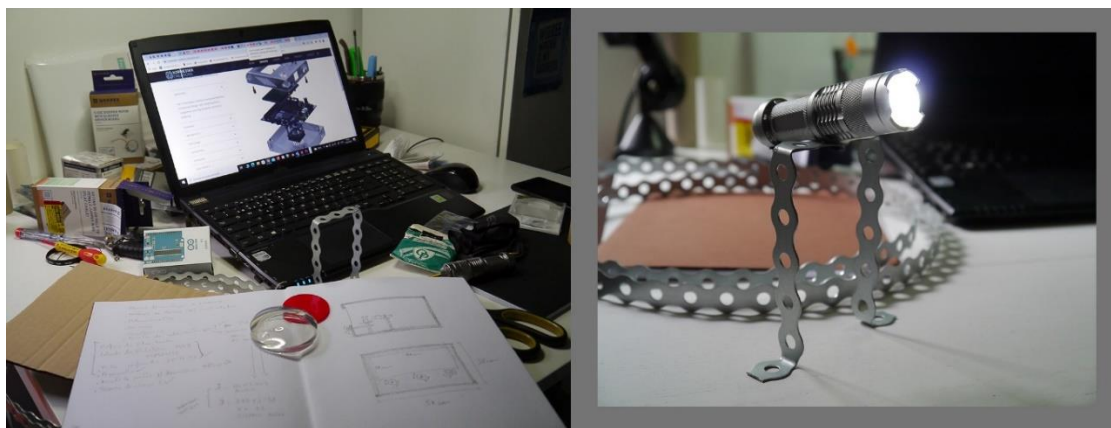


Figura 47 - Pesquisa de materiais para a construção da caixa e pormenor da fita metálica com lanterna

Para o desenho da caixa optou-se pela forma hexagonal para permitir um maior afastamento lateral das lanternas, tendo em linha de conta o necessário ajuste dos ângulos dos feixes de luz em relação ao plano da tela (Figura 46). Ou seja, percebeu-se que comparativamente à forma de um quadrado, a forma hexagonal criaria espaço extra para se movimentar e ajustar a posição das fontes de luz como, também, a posição dos outros mecanismos óticos e acessórios de modelação da luz.



Figura 48 - Esboço sobre a análise do formato ideal para a base da caixa

Ficando definido um formato para a base da caixa negra (Figura 48) passou-se para a fase do ajuste e acerto de medidas tomando, como referência, as posições de todos os mecanismos e elementos óticos cujas distâncias à tela foram, respetivamente, estudados e

ensaiados, anteriormente. As medidas da estrutura da caixa não são simétricas por opção e preferência estética, sem comprometer a funcionalidade.

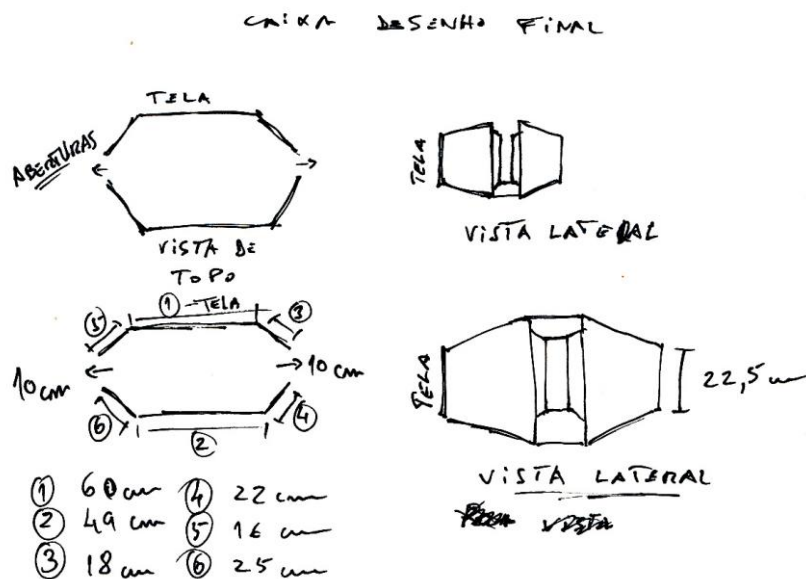


Figura 49 - Esboço com as medidas finais da caixa negra

## 8.2. Conclusão e ajustes

No seguimento das pesquisas anteriores (Figura 48 e 49) e tomadas as decisões sobre os materiais de construção a utilizar (Figura 47) seguiu-se, então, a fase de orçamento e aquisição dos mesmos.

Relativamente ao PVC expandido para a estrutura da caixa, este acabaria por ser adquirido num armazém local de acrílicos. Não apenas na aquisição do PVC mas, também, nas restantes ferragens, foi interessante a constatação da publicidade enganadora que as grandes superfícies comerciais fazem. No comércio local, conseguiu-se adquirir exatamente os mesmos materiais a menos de um terço do preço das grandes superfícies e sem contabilizar o custo e o tempo que se perde nas deslocações às grandes superfícies comerciais que, por norma, estão instaladas sempre nos limites das vilas e cidades.

Concluiu-se, definitivamente, que a opção pelo PVC expandido foi uma boa escolha para este projeto por ser de fácil manuseamento e corte como, também, de boa resistência e leve. Foi muito fácil de cortar, pintar e, também, simples de montar.

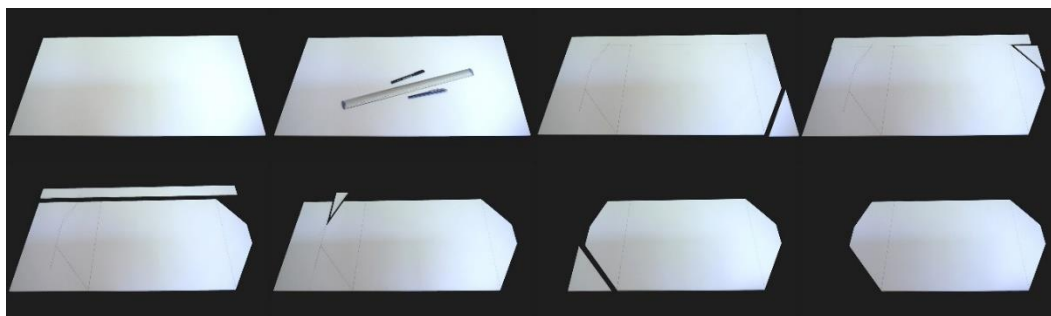


Figura 50 - Sequência de corte do PVC para a base da caixa negra

Com um x-ato, uma régua metálica e um pouco de precisão aplicados ao corte manual (Figura 50), rapidamente se obtiveram as partes necessárias para a estrutura da caixa negra.

O processo de corte prosseguiu com as laterais da caixa e outro corte final que viria a ser a “tampa” da caixa negra. Posteriormente, todas as partes foram pintadas com tinta acrílica de cor preta e acabamento mate. E, seguidamente, fizeram-se as furações para os parafusos de fixação finalizando, assim, a montagem da caixa.

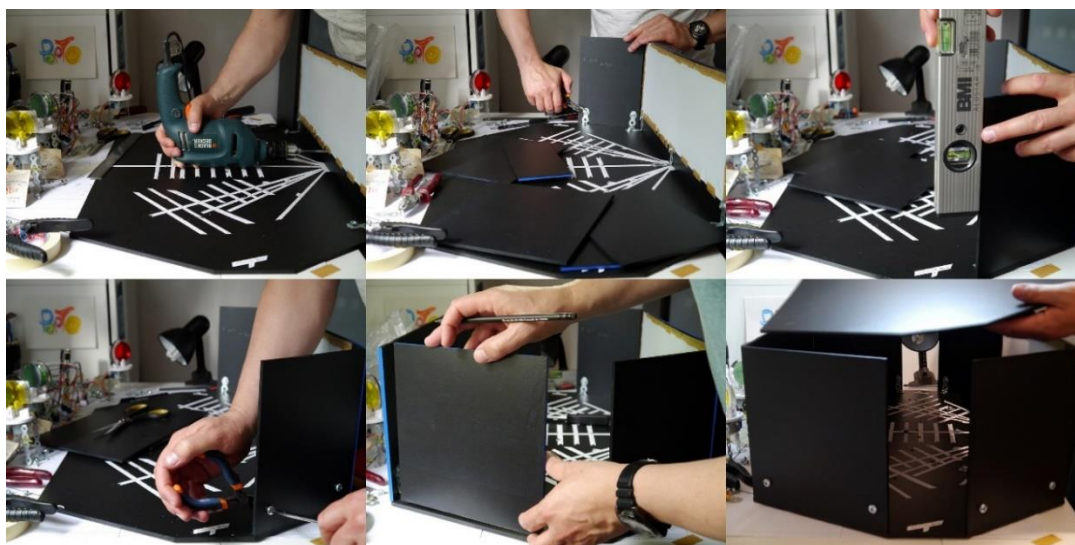


Figura 51 - Sequência de imagens da montagem da estrutura da caixa negra

Esta fase do projeto encerra a questão relacionada com o espaço onde a ação decorre (Figura 51). Culmina, também, na materialização de uma ideia mutante que se soube ir adaptando, ganhando, assim, a forma de um artefacto que surge enquanto consequência de várias experiências e ensaios sobre a funcionalidade da projeção dos visuais e respetiva nitidez numa tela que ocupa a totalidade da estrutura frontal da caixa negra.

A fase seguinte do trabalho centrou-se na construção dos suportes e respetiva montagens de lanternas e mecanismos de rotação dos elementos óticos instalados no interior da caixa negra.

Como referido, anteriormente, o processo da procura de materiais para os suportes, que fossem fáceis de moldar e ajustar, foi determinante. O tempo de pesquisa e idealização (Figura 52) foi importante e acabou por se revelar eficaz.

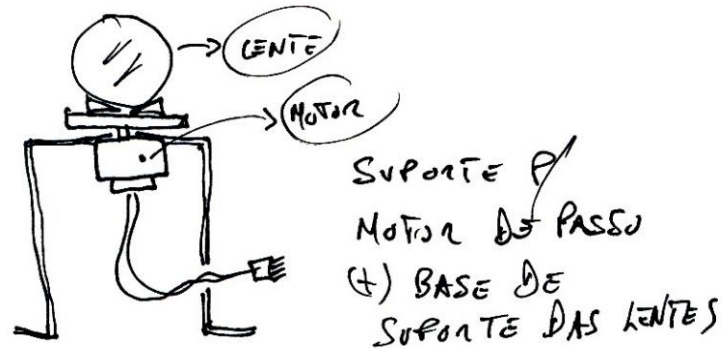


Figura 52 - Esboço para suporte do motor de passo e mecanismo de lentes e filtros

A fita metálica perfurada é comercializada em diversas medidas e espessuras. Foi utilizada uma fita mais espessa e larga para os esquadros que fixam as paredes da caixa à base, como também, para fixar o topo da caixa. Para os suportes das lanternas foi utilizada uma medida e espessura inferior, mas que garantiu a estabilidade e providenciou, igualmente, perfurações para bons ajustes em altura.

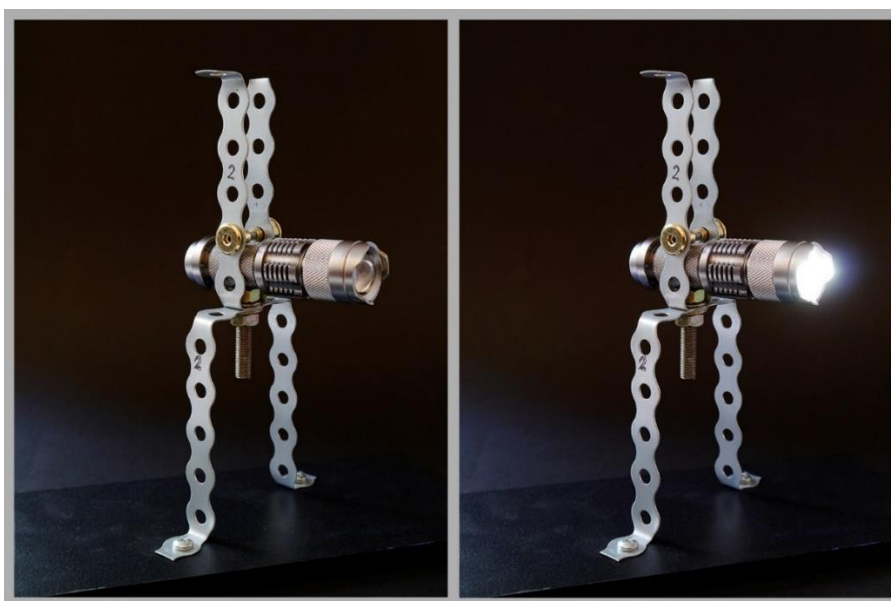


Figura 53 - Fita metálica perfurada a servir de suporte às lanternas

O suporte das lanternas (Figura 53) foi idealizado de forma a permitir a elevação do feixe de luz em quatro níveis paralelos sendo possível, também, o ajuste do respetivo ângulo de incidência por meio de dois movimentos opcionais de rotação da lanterna tanto para os lados como o ajuste de ângulos picados.

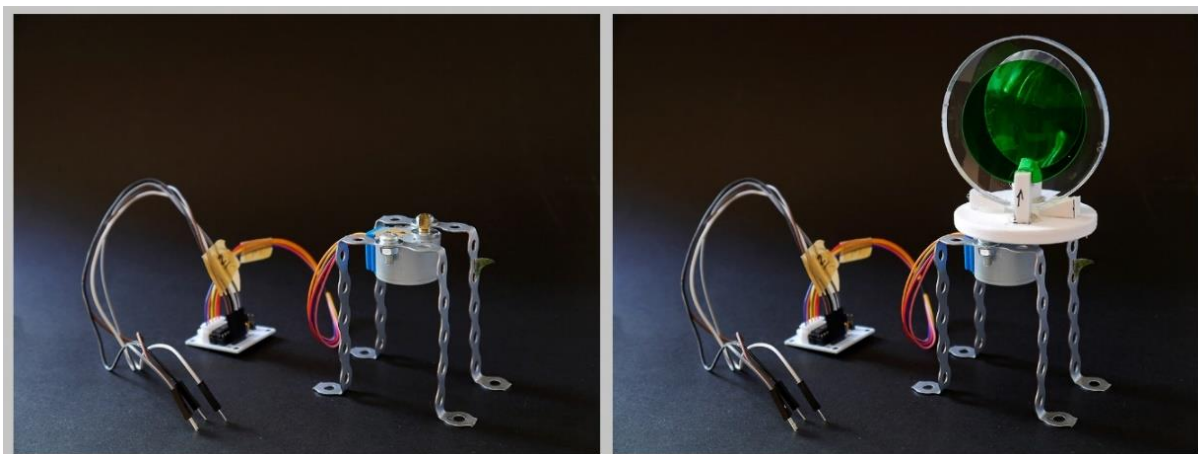


Figura 54 - Fita metálica perfurada a servir de suporte ao mecanismo de rotação dos elementos óticos

Por sua vez, para suportar os mecanismos de rotação foi utilizada uma fita metálica de espessura e largura ainda mais reduzida (Figuras 52 e 54), mas cujo diâmetro de furação seria mais adequado aos respetivos parafusos de fixação. A fita metálica utilizada como suporte dos mecanismos de rotação dos elementos óticos demonstrou total estabilidade e ausência de vibração durante o funcionamento do motor de passo.



Figura 55 - Estrutura do artefacto caixa negra

## CAPÍTULO QUATRO – O INTERATIVO E O AUTÓNOMO

### 9. Modos de comunicar

Alcançado o ponto em que as estruturas da caixa negra, dos mecanismos óticos e da fonte de luz se encontram finalizados (Figuras 53, 54 e 55), segue-se a fase da experiência visual, ou seja, a fase em que se procurou o modo e a forma de gerir a contemplação e a interação com a luz.

A comunicação tem várias formas possíveis. Conforme é sabido do conhecimento geral, comunicar significa transmitir uma mensagem através de um determinado meio ou sistema. Ao comunicar provocam-se reações, momento a partir do qual se entra numa sequência de interação.

Como se sabe, para se comunicar tem de existir um emissor, uma mensagem e um recetor. A mensagem oral verbal, a título de exemplo, implica que essa mensagem esteja estruturada dentro de certas regras, ou seja, exige um código que é enviado através de um determinado canal de comunicação que seja entendido por ambos os intervenientes numa forma concreta.

Neste projeto a caixa negra desempenhará a função de canal de comunicação, munida dos respetivos mecanismos óticos que irão retroprojetar na tela visuais pré-definidos e entendidos como mensagens luminosas. Ou seja, as reações a esta comunicação visual por parte do recetor, não terão, necessariamente, de ser expressas em palavras. A simples manifestação do silêncio (a contemplação) do recetor será compreendida como que uma expressa reação a determinada mensagem, da mesma forma que a manipulação da caixa (a interatividade) por meio de gestos o serão, também, encarados como reações a mensagens visuais, momento este em que se iniciarão sequências de interação ou cadeias de reações.

#### 9.1. A manipulação

De início, no momento em que foram idealizados os modos de interação por meio da manipulação de mecanismos na caixa negra, a pesquisa foi centrada em meios mecânicos e manuais como roldanas e sistemas similares com recurso a materiais fáceis de reutilizar ou,

então, que fossem de fácil desenho e consequente construção manual ou, até mesmo, recorrendo ao desenho e impressão 3D.

O funcionamento do sistema manual passaria, também, por estar munido de um modo de transferência, uma forma de alternar entre modo autônomo e modo interativo, como que o “ponto morto” de uma caixa de velocidades.

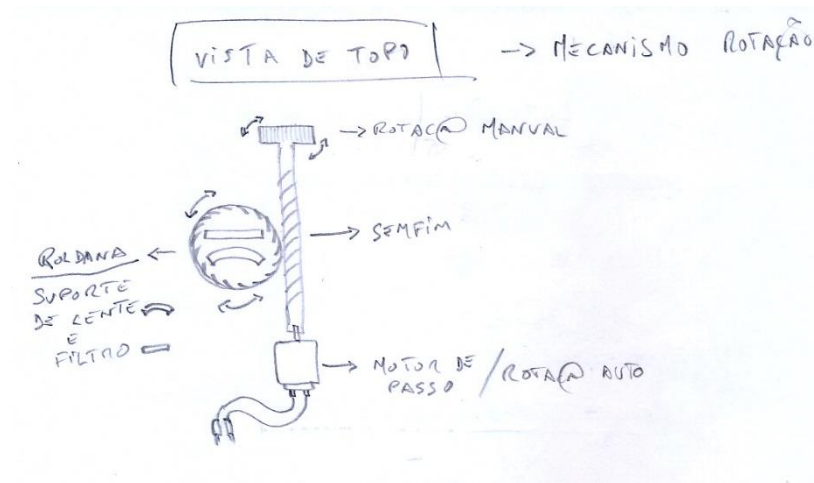


Figura 56 - Esboço de um possível mecanismo de rotação manual

Este sistema manual (Figuras 56 e 57) foi idealizado de forma a poder ser operado de frente para a tela do objeto interativo onde decorreria a ação visual criando, assim, como que uma condição ideal para interagir, uma forma de comunicação direta e imediata.

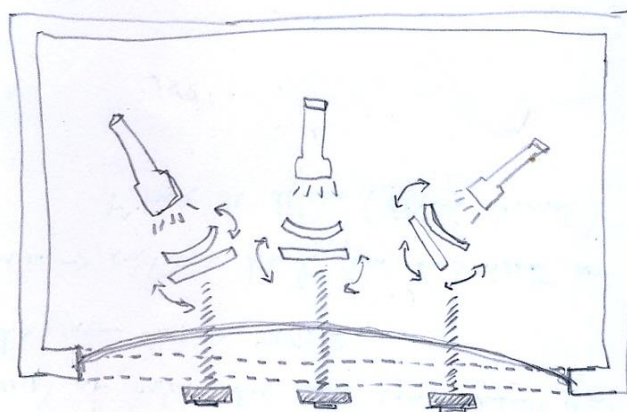


Figura 57 - Esboço da vista de topo com uma tela curva e três veios de manipulação para cada um dos mecanismos de rotação dos elementos óticos

Após uma análise mais ponderada, resultante da evolução do processo criativo deste projeto, alguns dos conceitos aplicados foram-se transformando, de forma natural, acabando por deixar cair por terra o modo inicial de interação apenas mecânica, ao mesmo tempo que se foram considerando possibilidades de interação por via de sensores analógicos.

Para esta via decidiu-se o recurso ao sistema Arduino, tendo como referência algumas das matérias que foram abordadas no decorrer de algumas unidades curriculares (UCs) deste mestrado.

Premeditadamente, ficou de lado a possibilidade de um controlo total por parte do utilizador no modo interativo, apenas são manipuladas variáveis predefinidas.

Inicialmente, conforme descrito acima, foi pensada a utilização de meios de manipulação mecânica da caixa (Figuras 56 e 57) que viriam a ser substituídos por dispositivos analógicos, um sensor de gestos e um joystick de polegar, especificamente.

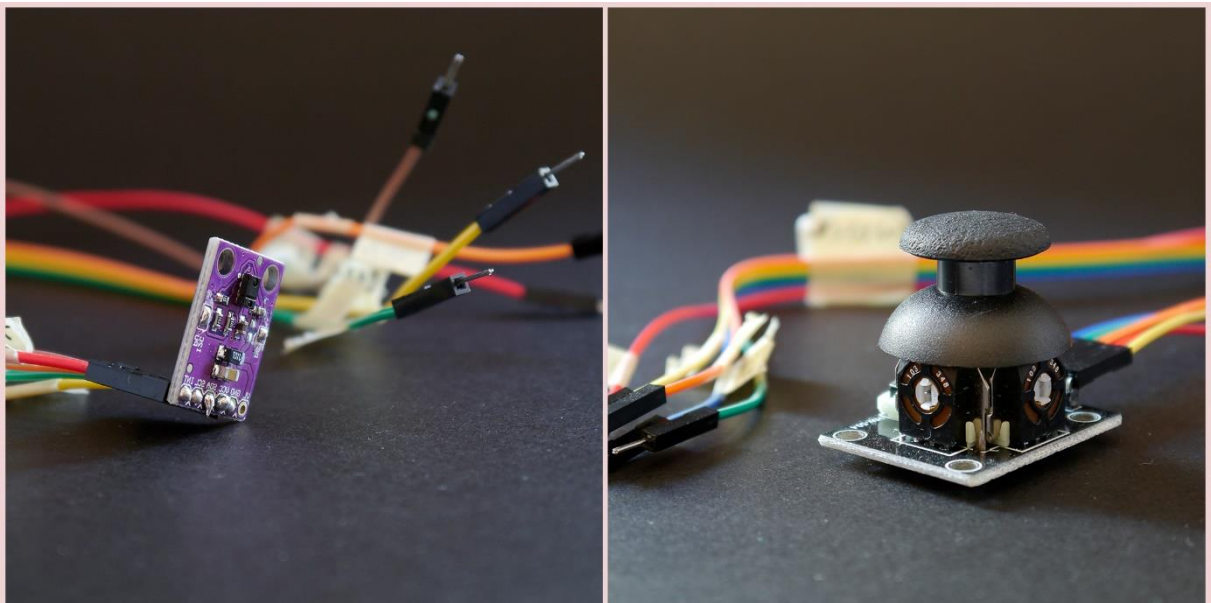


Figura 58 - Sensores utilizados no projeto: sensor de gestos APDS-9960 à esquerda e joystick KY-023 à direita

Foram feitos testes com um sensor de gestos APDS-9960 e um *joystick* KY-023 de duas coordenadas (Figura 58) através dos quais a interação com os mecanismos da caixa negra acontecem, dentro de limites predefinidos.

A ideia base para a interação por meio do sensor de gestos (Figura 58, imagem da esquerda) é conseguir controlar os motores em rotação. Definiu-se, por meio de código, que, ao aproximar a mão ao sensor, frontalmente, os motores vão parar o *loop* automático. A partir

desse momento, passando a mão em frente ao sensor e no sentido da esquerda, os motores iniciam uma rotação para a esquerda, até completarem 360 graus. O mesmo acontece, no sentido inverso, ao passar da mão junto do sensor e no sentido da direita, até completarem 360 graus.

Estas ações podem ser interrompidas, a qualquer momento, com o movimento de aproximação frontal da mão ao sensor para regressar ao modo de rotação autónomo mas, desta vez, colocando a mão junto ao sensor seguido de um movimento de afastamento. O esquema e o código utilizado para os testes, como se poderá ver nos anexos C e D, respetivamente, foram desenvolvidos a partir da consulta de bibliotecas Arduino e tutoriais disponíveis na *web* (devidamente referenciados).

Por sua vez, a ideia da utilização do *joystick* surgiu um pouco pela intenção de proporcionar uma relação de aproximação, uma ligação física e contínua, uma sensação de manipulação através do toque, ao invés da experiência com o sensor de gestos onde o toque não chega a acontecer, embora as possibilidades de interação sejam idênticas.

Ficou definido que o "clique", pressionando o *joystick* na sua função de botão, os motores irão parar o *loop* automático. A partir daqui, manipulando o comando de direção do *joystick* para a coordenada X, os motores iniciarão uma rotação no sentido da esquerda, até se libertar o comando o que resultará na paragem dos motores. Por sua vez, ao manter o comando de direção do *joystick* na coordenada Y, os motores iniciarão uma rotação para a direita, até se libertar o comando o que resultará na paragem dos motores. Para voltar ao modo autónomo bastará aguardar alguns segundos sem interagir por meio do *joystick*. O esquema e o código utilizado para os testes com *joystick*, como se poderá ver nos anexos E e F, respetivamente, foram desenvolvidos a partir da consulta de bibliotecas Arduino e tutoriais disponíveis na *web* (devidamente referenciados).

Em ambos os modos de interação, tanto por via do sensor de gestos como por via do *joystick*, acontecem falsas sensações de controlo sobre a manipulação do artefacto. O utilizador poderá manipular ou interagir apenas dentro de certos limites pré-programados, conforme código no anexo I.

Embora seja possível alargar as possibilidades sobre a manipulação direta da rotação dos elementos óticos que operam no interior da caixa, o ato de contemplação do artefacto é para manter como a primeira e a principal forma de interação com o objeto, o espaço e o tempo, durante a instalação interativa deste projeto.

## 9.2. A contemplação

Sendo a contemplação do belo o motivo de fundo deste projeto, a esquemática dos automatismos foi ensaiada para dar tempo e espaço ao surgimento de percepções visuais diferenciadas e individuais que, de resto, caracterizam o ser humano. O cerne deste projeto manter-se-á na intenção de desenhar formas luminosas projetadas que provocarão o olhar, que proporcionarão sensações visuais individualizadas, percepções e interpretações livres, sem que, em momento algum, sejam dadas quaisquer indicações ou sugestões temáticas. Daqui partiu a primeira premissa, a de que a velocidade de rotação dos elementos óticos teria de ser muito lenta. Para tal, foram feitos esboços daquilo que viriam a ser as colisões de luz previstas que tanto ocorrerão a partir do interior do corpo dos elementos óticos como, também, no vazio que existe na caixa negra, resultando, por fim, na observação de visuais de luz e cor retroiluminados no plano da tela.

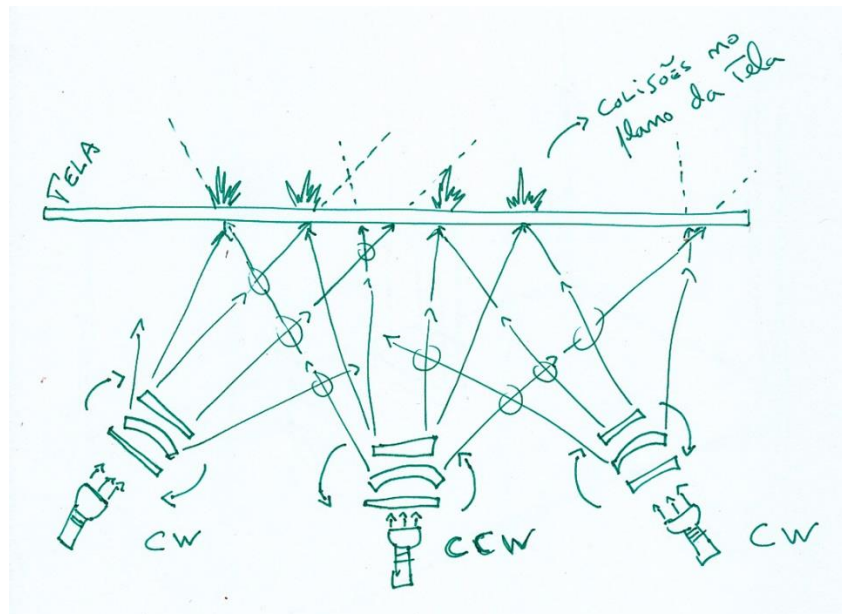


Figura 59 - Esboço de colisões de luz projetada sobre a tela

## 9.3. A autonomia

A gestão da velocidade e do sentido de rotação dos elementos óticos, tanto no modo autónomo como no modo interativo, como se poderá analisar no anexo I, ficou atribuída ao Arduino.

A velocidade e os sentidos de rotação *clockwise* (CW) e *counterclockwise* (CCW) dos motores de passo que suportam os grupos de elementos óticos irão ocorrer em contínuo alternado de forma a prolongar no tempo, ou melhor, de forma a adiar o momento em que ocorrerão as repetições dos visuais projetados.

Os motores de passo utilizados foram os do modelo 28BYJ48 com módulo driver ULN2003 para Arduíno. A escolha foi feita com base na intenção de ter movimentos de rotação bastante lentos e por estes serem motores com essas capacidades pois convertem impulsos digitais em pequenos passos, mais precisamente 2048 passos que perfazem uma rotação de 360 graus. Estes passos foram programados, tanto para os sentidos de rotação como para a velocidade e valores de aceleração e desaceleração específicos, sendo pré-definidos consoante a dinâmica de projeção pretendida e conforme se poderá analisar nos anexos G e H.

Optando-se por apenas três conjuntos independentes de elementos óticos e três motores para cada um desses conjuntos, respetivamente, os sentidos de rotação definidos foram distribuídos, primeiramente, pela procura da colisão dos raios luminosos provenientes de cada um dos conjuntos (Figura 59), reduzindo assim os momentos de projeção de raios em paralelo.

#### 9.4. Alguns ajustes

Na contínua procura pela melhor orgânica visual do modo autónomo foram feitos ajustes na velocidade e aceleração da rotação de cada um dos motores tentando aprimorar a dinâmica da projeção. Foi na gestão dessa rotação que se procurou o adiamento, ou até mesmo, a exclusão da percepção temporal do indivíduo sobre o momento em que acontece a inevitável repetição dos visuais projetados no plano da tela.

E, conforme referido, anteriormente, as sensações visuais e a ilusão são parte indissociável deste projeto que lida com a interpretação da luz.

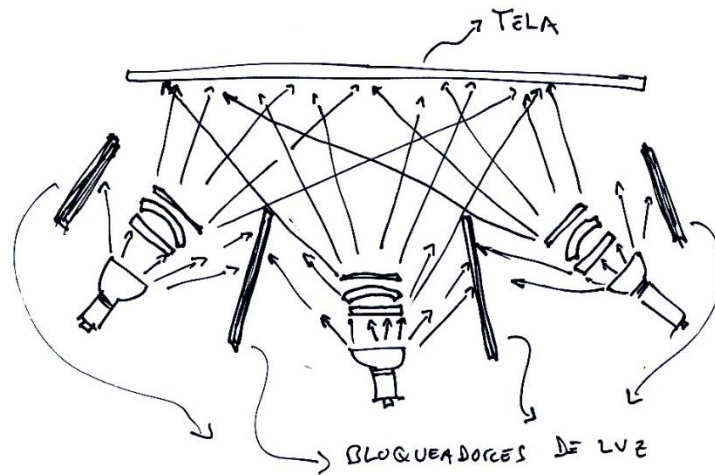


Figura 60 - Esboço do ensaio sobre modelação de luz com bloqueadores

Para além dos ajustes no Arduino sobre a velocidade de rotação e aceleração, outros ajustes foram sendo feitos na modelação da luz. A modelação de luz consistiu em colocar pequenos bloqueadores (Figura 60) e refletores entre cada um dos conjuntos de elementos óticos de forma a modelar os visuais que acontecerão no plano da tela.

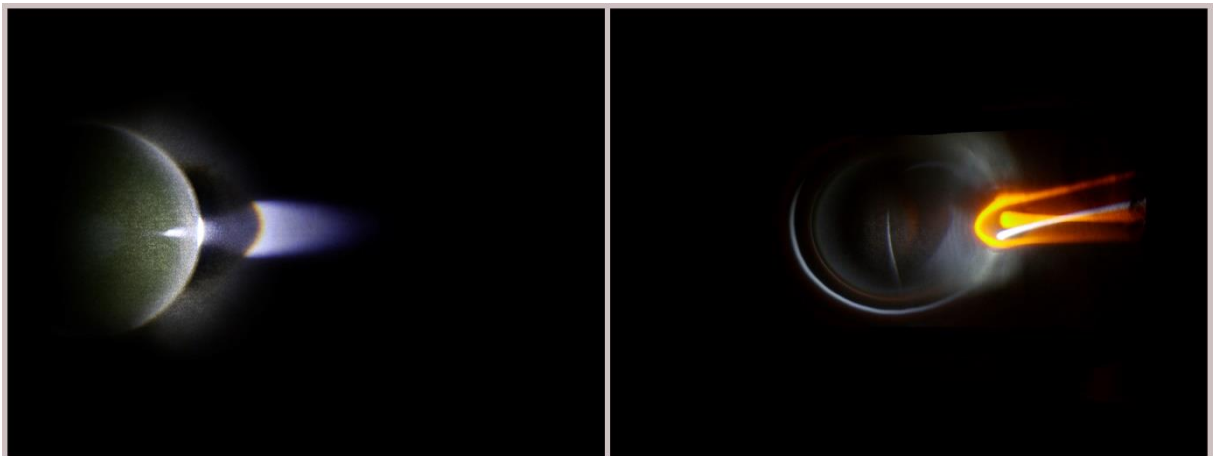


Figura 61 - Captação fotográfica de um momento representativo dos ensaios sobre a modelação de luz com adição de filtros de cor

Foi, também, ensaiada a mistura de filtros de cor (Figura 61) e a redução da potência de luz por meio de difusores colocados no interior dos cones refletores fixos nas lanternas. Ou seja, os ajustes incidiram sobre o controlo das altas luzes, das sombras e cor da imagem.

## CAPÍTULO CINCO – INSTALAÇÃO EXPOSITIVA

### 10. A relação com o objeto e o espaço

#### 10.1. Análise

Fez todo o sentido que este projeto se materializasse numa instalação de um objeto que coexistirá num determinado espaço onde se reúnam condições de iluminação controlada, um ambiente onde o espaço físico que acolhe o objeto proporcionará espaço e tempo para a criação e desenvolvimento de uma relação de contemplação e interação, por mais breve que sejam. É importante criar um ambiente imersivo que promove uma boa comunicação, ou relação, entre objeto, espaço e indivíduo.

A luz, enquanto meio de comunicação, necessita de certas condições de transmissão para que descreva de forma eficaz a mensagem. A contemplação dos visuais projetados no plano da tela não conseguem ter uma boa leitura se forem observados à luz do dia, por exemplo. De igual forma, o silêncio, ou a ausência de ruído são também fatores importantes neste trabalho, logo aqui se reforçou a importância de a instalação do objeto ser num espaço ou ambiente controlado ao nível da iluminação como, também, ao nível do som. É importante trabalhar os sentidos da visão e da audição para uma melhor experiência. O ato contemplativo do olhar tem uma relação direta com o espaço e o ambiente sonoro envolvente. O som molda, altera e condiciona a nossa percepção visual e, como tal, foi preciso definir, logo à partida, se o som poderia ou não fazer parte da experiência. Para uma contemplação visual, acompanhada de som, ocorrer em condições ideais é necessário trabalhar intensivamente para perceber a viabilidade sensorial para uma inclusão sonora, ou não.

Para este projeto que será, especificamente, apresentado num momento académico de final de curso, decidiu-se pela ausência de som e acontecerá num espaço onde os ruídos exteriores serão minimizados.

#### 10.2. Instalação física

Ao longo do processo criativo do projeto foram acontecendo alguns esboços mentais, e outros de carvão e tinta sobre papel, onde se foi desenhando o que viria a ser a instalação

física de um objeto, neste caso uma caixa negra, a existir num determinado espaço. E, esteve sempre presente a preocupação de idealizar um espaço físico capaz de proporcionar um ambiente imersivo. Uma das ideias que se afirmou foi a da presença de um objeto suspenso a emitir visuais numa pequena tela, por sua vez retroprojetados a partir do interior desse objeto, a caixa negra.

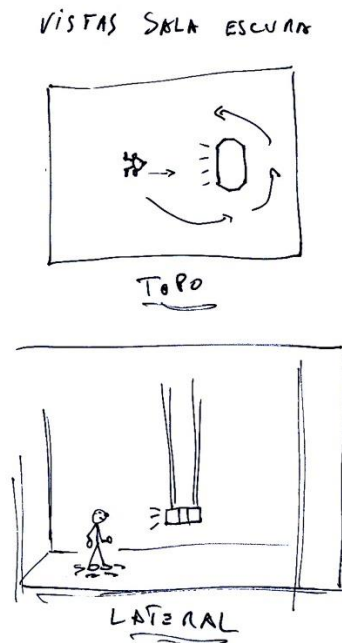


Figura 62 - Primeiro esboço da apresentação final

Para a contemplação ocorrer em condições ideais foi necessário perceber as possibilidades ou viabilidades sensoriais sobre a inclusão ou não de som panorâmico e a minimização de ruídos exteriores. E, em termos físicos o espaço e o objeto foram idealizados a partir da sua relação de escala (Figura 62), característica determinante para uma boa experiência.

A sala, ou espaço físico, tem de ser escuro, com paredes, teto e chão escuros ou sem quaisquer materiais refletivos presentes de forma a neutralizar raios luminosos que possam atingir as faces exteriores da caixa negra. Um pouco à semelhança daquilo que seria experienciar o interior de uma *camera obscura*, escuridão total, breu, é fundamental que a atenção e a nitidez de imagem estejam presentes apenas no plano da tela da caixa negra presente na sala, suspensa por finos cabos de aço.

Todas estas projeções mentais e ideias sobre a instalação eram representadas quase sempre pelo espaço físico da Black Box da ESMAD.

A Black Box apresenta condições ideais para a instalação tanto pela sua escala espacial, importante na relação com o objeto como, também, pelo total controlo de luz e som que possui e para além de apresentar soluções técnicas ideias para uma fácil montagem da instalação interativa.

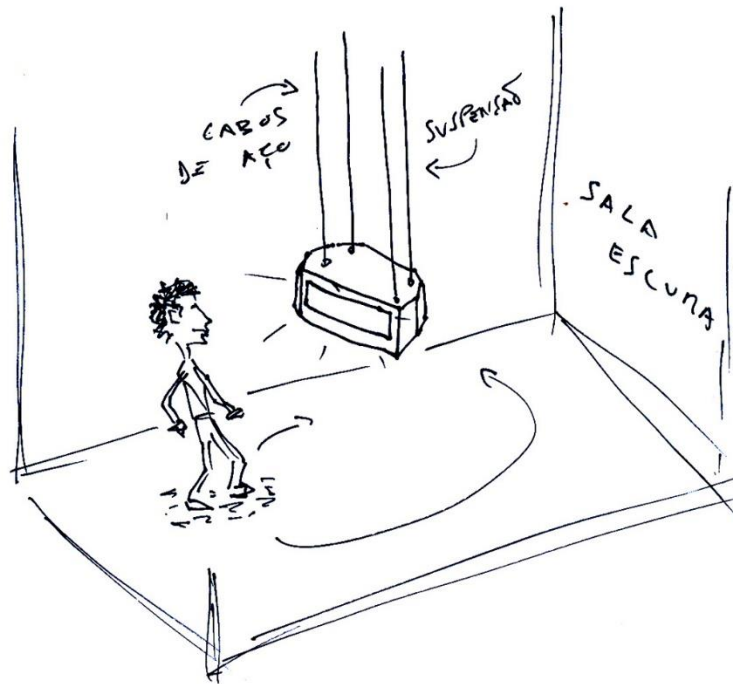


Figura 63 - Esboço de uma perspectiva da apresentação final

Ficou definido que a caixa negra será suspensa a, sensivelmente, 150cm do chão, uma altura média considerada a ideal para proporcionar uma confortável observação frontal da tela da caixa negra. Ficará como que suspensa no vazio escuro, e ao fundo do espaço físico disponível, mas deixando área disponível o suficiente para que seja possível contornar e explorar a caixa negra (Figura 63).

## CONCLUSÕES E TRABALHO FUTURO

O caminho percorrido até à concretização deste projeto foi algo que me fez crescer, feliz e motivado para continuar a aprofundar conhecimentos e novas formas deste tipo de expressão visual. Quero com isto dizer que o processo foi tanto ou mais interessante e enriquecedor que o próprio e valioso resultado final, ou seja, as experiências que ocorreram durante o processo de trabalho foram a mais-valia e não tanto a experiência do ponto de chegada ou da conclusão de determinado projeto.

Foi um percurso cheio de estímulos intelectuais e desafios práticos.

Este é um projeto de autor cuja intenção se centrou no estímulo das perceções visuais individualizadas e, para tal, foi necessário desenvolver uma experiência contemplativa a acontecer em determinadas condições e espaços de ambiente controlado.

Este processo sofreu, logo de início, com as alterações de escala muito significativas. Tratou-se de reformular a ideia de uma experiência em que a emissão e a receção de luz aconteceriam no espaço interior de uma sala para uma experiência onde a emissão de luz passa a acontecer a partir do interior de uma pequena caixa negra suspensa (Figura 63).

Esta alteração deveu-se à mudança de residência para Lisboa, por motivos profissionais e pessoais, o que me levou a ficar geograficamente muito distante da faculdade. Tudo isto levantou sérias questões à continuidade do projeto pois faziam parte dos planos e ideias iniciais o acesso a vários equipamentos e espaços da faculdade para o desenvolvimento de testes e ensaios. Mas nunca este facto foi encarado como um mal maior e sim um desafio em como adaptar o desenvolvimento do projeto a outra realidade. E, foi adicionalmente estimulante e motivador a compreensão e imediata sugestão dos professores lançando-me ideias e formas de contornar esta pequena, embora súbita, mudança.

Várias questões do projeto sofreram alterações, considerando que a pesquisa pelo tipo de fonte de luz a utilizar e a forma de projetá-la, foram os aspetos mais interessante de explorar. Na ideia inicial, a luz seria projetada numa das paredes opacas da sala, o que proporcionaria uma experiência de luz refletida ao invés da atual versão do projeto em que se trata de uma experiência de luz incidente, pois os visuais serão retroprojetados e percebidos diretamente através de uma tela translúcida.

Outra grande alteração foi que, ao invés de serem utilizadas luzes calibradas das quais poderia usufruir na faculdade, tive de investigar e procurar por outras soluções económicas que proporcionassem o mesmo tipo de controlo sobre a temperatura de cor, por exemplo.

Uma vez mais, estas alterações forçadas conduziram o projeto por caminhos muito interessantes e enriquecedores. Foi a partir daqui que o projeto se direcionou para a reutilização de materiais, acabando por transformar o projeto num verdadeiro “tubo de ensaio” onde se experimentaram vários materiais para a construção dos modeladores de luz, refletores, lentes, a própria construção da caixa, etc.

Desde tubos de cartão do papel de cozinha e de papel higiénico utilizados enquanto suportes e modeladores de luz, a lentes oftálmicas não cortadas, tudo serviu para modelar e desenhar com luz.

Na verdade, concluiu-se que o motivo central do projeto se manteve inalterado. A procura da ilusão ótica e a nitidez de imagem foram conseguidas de forma idêntica à ideia original. Aquilo que, ao início, pareceram limitações ao nível de espaço físico de ensaio e equipamentos, foram ultrapassados adaptando e reutilizando materiais e construindo uma caixa negra onde “tudo” iria acontecer no seu interior, substituindo assim a sala ou *camera obscura* idealizada, inicialmente.

Relativamente à interação do individuo com o objeto, na verdade, manteve-se inalterada a questão da relação com o espaço e a contemplação dos visuais pois a caixa irá coexistir, especialmente, suspensa numa sala escura.

Apenas se transformaram, fisicamente, tanto a relação de escala espacial como a relação interativa. Ou seja, o “assunto” manteve-se o mesmo e os visuais projetados, também. Neste projeto, apenas a forma e o modo de como se recebe, se percebe e se interpreta a luz foram reformulados.

Manteve-se inalterada a intenção de, através desta experiência contemplativa, estimular as percepções visuais e de colocar o indivíduo, por momentos, perante a fronteira entre o real e o imaginário através da interação com o espectro luminoso, promovendo assim, a contemplação do belo e a consciência sobre as matérias luminosas que nos rodeiam, diariamente, enquanto fenómenos físicos.

## 11. Trabalho futuro

Os desafios futuros passam por aprimorar questões técnicas para uma melhor comunicação e expressão individual através da luz, de uma forma igualmente consistente, mas com um leque maior de possibilidades interativas.

Tudo isto terá de passar por um maior investimento tanto em materiais e equipamentos como, também, numa contínua aquisição de conhecimentos em linguagens de programação.

Em termos técnicos será importante dotar este tipo de objeto com características mais autónomas como a alimentação de energia e as dinâmicas interativas.

O investimento monetário de maior destaque, para os trabalhos futuros, será a aquisição de elementos óticos de maior escala, luzes e respetivos acessórios de modelação, filtros de cor, etc. Sem esquecer a motorização dos mecanismos de suporte dos elementos óticos e a importância de otimizar esses mesmos suportes recorrendo, por exemplo, a perfis de alumínio ou outros materiais mais robustos, leves e modulares.

Finalizar este ciclo de estudos motiva no sentido de querer evoluir para projetos maiores, mantendo este formato de instalação e apresentação pública, pois apenas faz sentido assim, é fundamental a presença do indivíduo sem o qual a comunicação não se completa.

Os próximos passos passam por uma série de apresentações do projeto a agentes culturais e académicos com o intuito de ir adaptando o artefacto, no tempo e no espaço, desenvolvendo, assim, um processo criativo que permita a contínua mutação e aperfeiçoamento da obra.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Blackwell D.E. e Ingham M.F. (1960) Observations of the Zodiacal Light from a Very High Altitude Station, capítulo III The Disturbed Zodiacal Light and Corpuscular Radiation (Artigo)

Candy, L. (2006) Practice Based Research: A Guide, *Creativity & Cogniyion Studios Report*, 1,19

Dixon, S. (2007) Digital Performance: A history of New Media in Theater, Dance, Performance Art, and Installation, MIT Press

Eliasson, O. (2022) *Olafur Eliasson-Home Page*, Olafur Eliasson, <https://olafureliasson.net/>

Flusser, V. (1998) Ensaio sobre a Fotografia, para uma filosofia da técnica Relógio d'Água Editores DL nº.:129902/98

Hecht, E. (2012) Óptica. 3ªedição - Serviço de Educação, Fundação Calouste Gulbenkian

Kerss, T. (2021) Northern Lights: The Definitive Guide to Auroras. Royal Observatory Greenwich, HarperCollins Publishers, United Kingdom, 2021

Leinert, C. (1975) Zodiacal Light – A Measure of the Interplanetary Environment, introdução (Artigo)

Lopes, J.M.B. (2003) Computação Gráfica: Cor e Luz. Instituto Superior Técnico (artigo)

Norman, Thomas L. (2017) Effective Physical Security (artigo) <https://www.sciencedirect.com/topics/computer-science/colour-temperature>

Raynaud, D. (2021) Las Fuentes Ópticas de Leonardo: Leonardo da Vinci. Perspectiva y vision, ed. Luis Ramón-Laca (Artigo)

Schwartz, S. (2019) Geometrical and Visual Optics: A Clinical Introduction. 3rd. Ed., McGrawHill

Stafford, B. M. (2007) Echo objects: The cognitive work of images. Chicago: University of Chicago Press (Artigo)

Tanya Bonakdar Gallery (2021) Olafur Eliasson “Your Ocular relief”. Nova Iorque (Artigo)

Turrel, J. (2019), *James Turrel-Home Page*, James Turrel, <http://jamesturrel.com/>

Zewail, Ahmed H. (2010) Micrographia of the twenty-first century: from *camera obscura* to 4D microscopy (Artigo)

Zöllner, F. (2007) Leonardo Da Vinci: Pintura, desenhos e esboços, Taschen

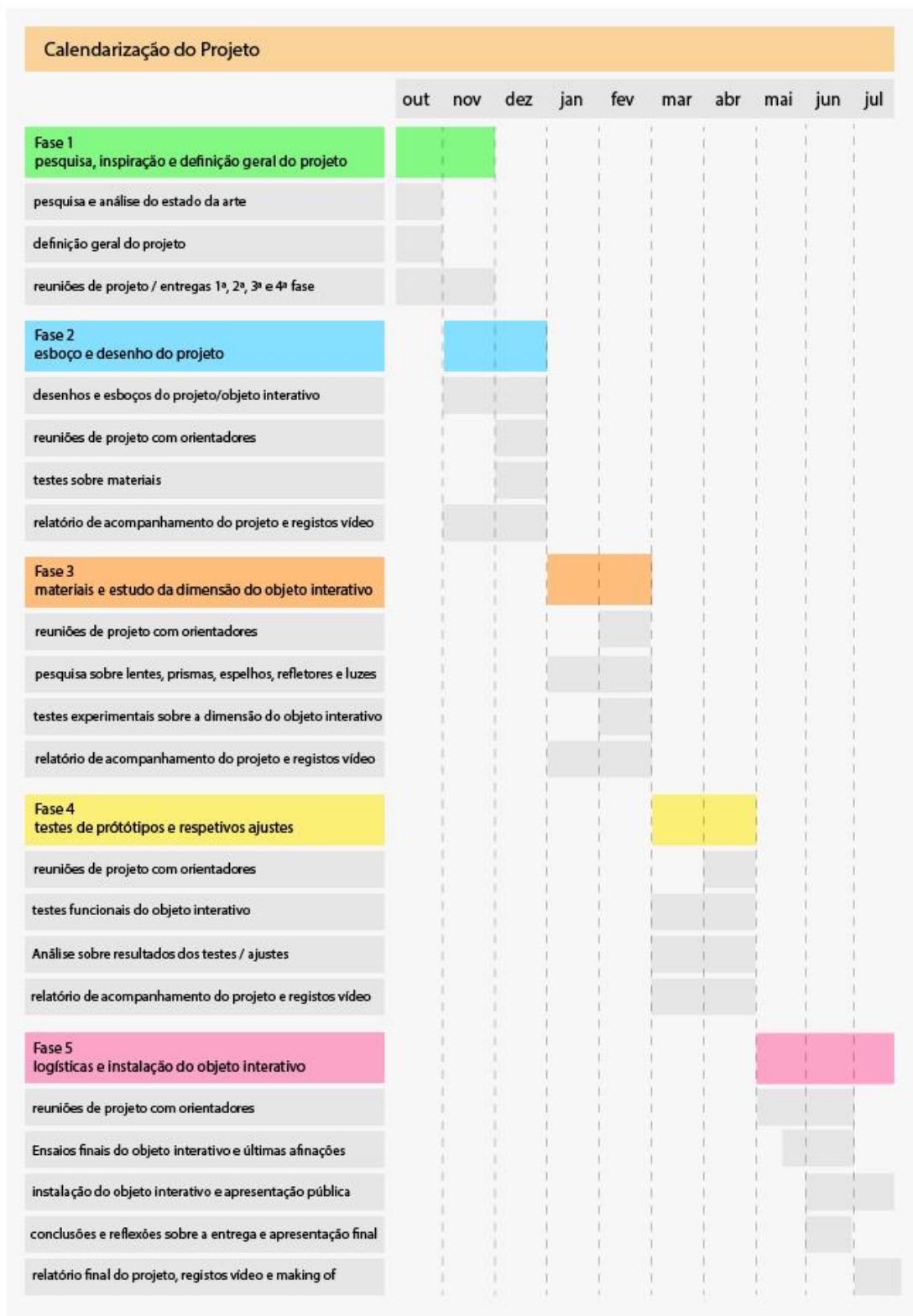
<https://micro.magnet.fsu.edu/optics/timeline/people/fresnel.html>

<https://www.physicsclassroom.com/class/refrn/Lesson-4/Rainbow-Formation>

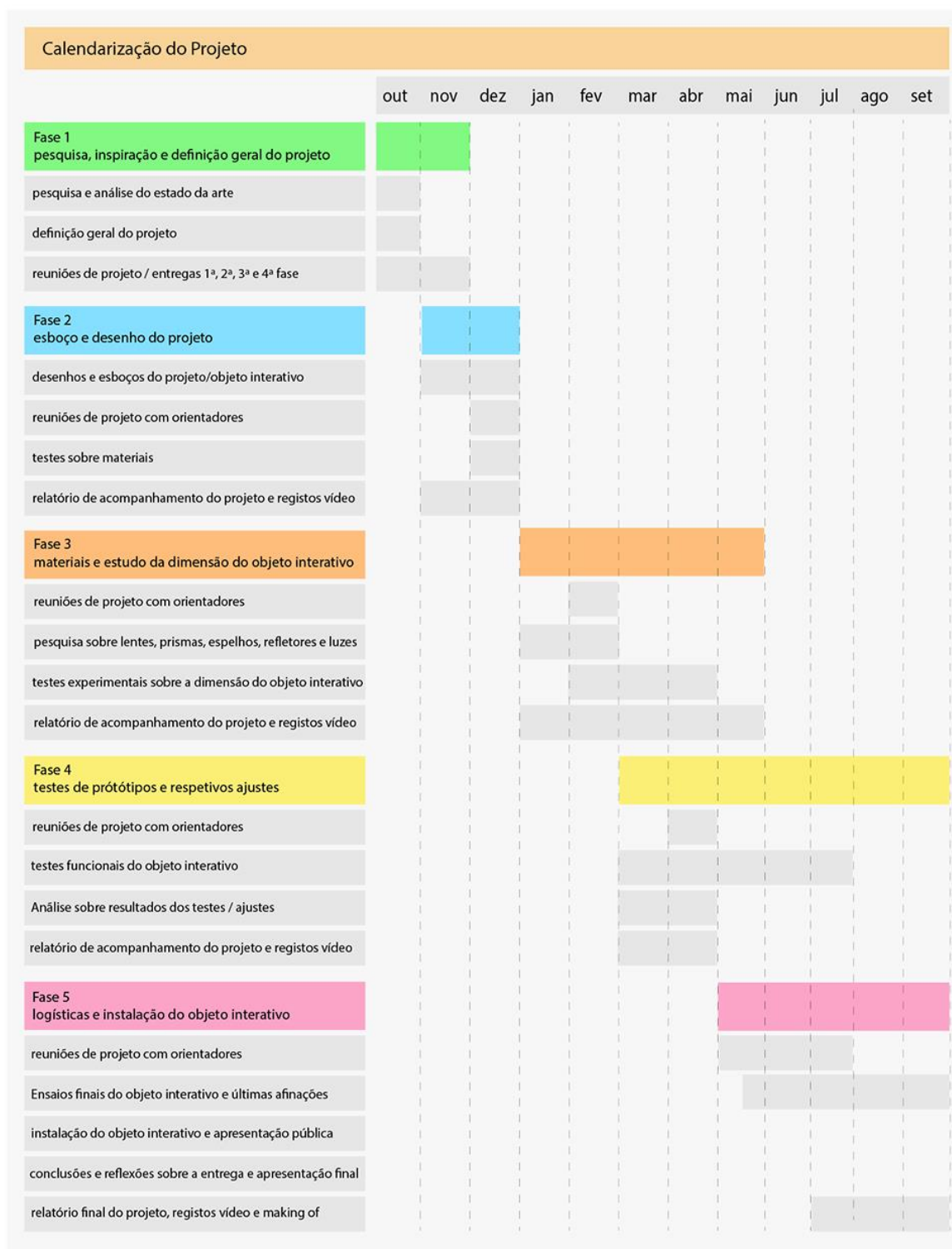
<http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbase/atmos/mirage.html>

# ANEXOS

## Anexo A – Cronograma inicial

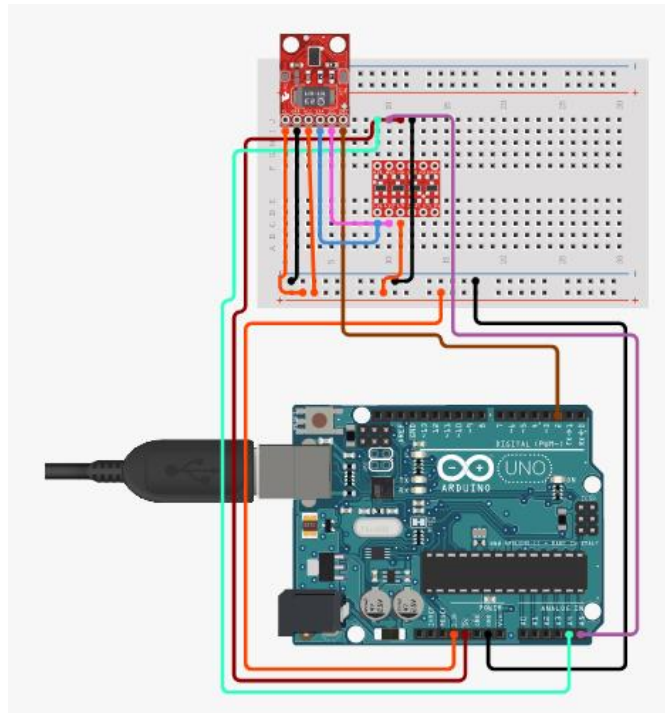


## Anexo B – Cronograma adaptado para a entrega em época especial



Anexo C – Captura de ecrã do esquema das ligações do sensor de gestos.

Esquema produzido utilizando recursos do programa “circuito.io” (<https://www.circuito.io/>)



Anexo D – *Sketch* utilizado para o ensaio sobre o funcionamento do sensor de gestos.

O código foi desenvolvido com recurso a bibliotecas Arduino e tutorial disponível *online* (<https://robojax.com/arduino-code-and-video-apds9960-gesture-rgb-proximity-sensor-module-6-pin>)

```
//https://robojax.com/arduino-code-and-video-apds9960-gesture-rgb-proximity-sensor-module-6-pin
```

```
/*
```

```
APDS-9960 - Gesture Sensor
```

```
This example reads gesture data from the on-board APDS-9960 sensor of the Nano 33 BLE Sense and prints any detected gestures to the Serial Monitor.
```

```
Gesture directions are as follows:
```

- UP: from USB connector towards antenna
- DOWN: from antenna towards USB connector
- LEFT: from analog pins side towards digital pins side
- RIGHT: from digital pins side towards analog pins side

```
The circuit:
```

- Arduino Nano 33 BLE Sense

```

This example code is in the public domain.
*/
#include <Arduino_APDS9960.h>

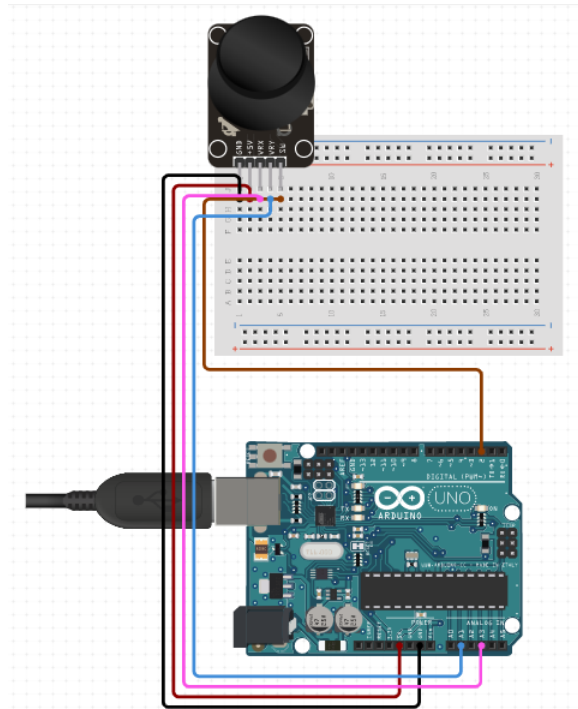
void setup() {
  Serial.begin(9600);
  while (!Serial);
  if (!APDS.begin()) {
    Serial.println("Error initializing APDS-9960 sensor!");
  }
  // for setGestureSensitivity(..) a value between 1 and 100 is required.
  // Higher values make the gesture recognition more sensitive but less
  // accurate
  // (a wrong gesture may be detected). Lower values makes the gesture
  // recognition
  // more accurate but less sensitive (some gestures may be missed).
  // Default is 80
  //APDS.setGestureSensitivity(80);
  Serial.println("Detecting gestures ...");
}

void loop() {
  if (APDS.gestureAvailable()) {
    // a gesture was detected, read and print to Serial Monitor
    int gesture = APDS.readGesture();
    switch (gesture) {
      case GESTURE_UP:
        Serial.println("Detected UP gesture");
        break;
      case GESTURE_DOWN:
        Serial.println("Detected DOWN gesture");
        break;
      case GESTURE_LEFT:
        Serial.println("Detected LEFT gesture");
        break;
      case GESTURE_RIGHT:
        Serial.println("Detected RIGHT gesture");
        break;
      default:
        // ignore
        break;
    }
  }
}
}

```

**Anexo E – Captura de ecrã do esquema das ligações do *joystick* de polegar.**

Esquema produzido utilizando recursos do programa “circuito.io”  
(<https://www.circuito.io/>)



Anexo F – *Sketch* utilizado para o ensaio sobre o funcionamento do *joystick*..

O código foi desenvolvido com recurso a bibliotecas Arduino e tutorial disponível *online* (<https://www.hackster.io/eemaan05/control-2-stepper-motors-with-a-joystick-ef619e>).

```
// https://www.hackster.io/eemaan05/control-2-stepper-motors-with-a-joystick-ef619e

#include <Stepper.h>

const int stepsPerRevolution = 64; // change this to fit the number of steps
per revolution
// for your motor
// initialize the stepper library for both steppers:
Stepper small_stepper(stepsPerRevolution, 10,12,11,13);
Stepper small_stepper2(stepsPerRevolution, 1,4,3,5);

void setup() {
  // set the speed of the motors
  small_stepper.setSpeed(300); // set first stepper speed
  small_stepper2.setSpeed(300); // set second stepper speed
}
```

```

void loop() {
  int sensorReading = analogRead(A0); // read value from joystick X-axis

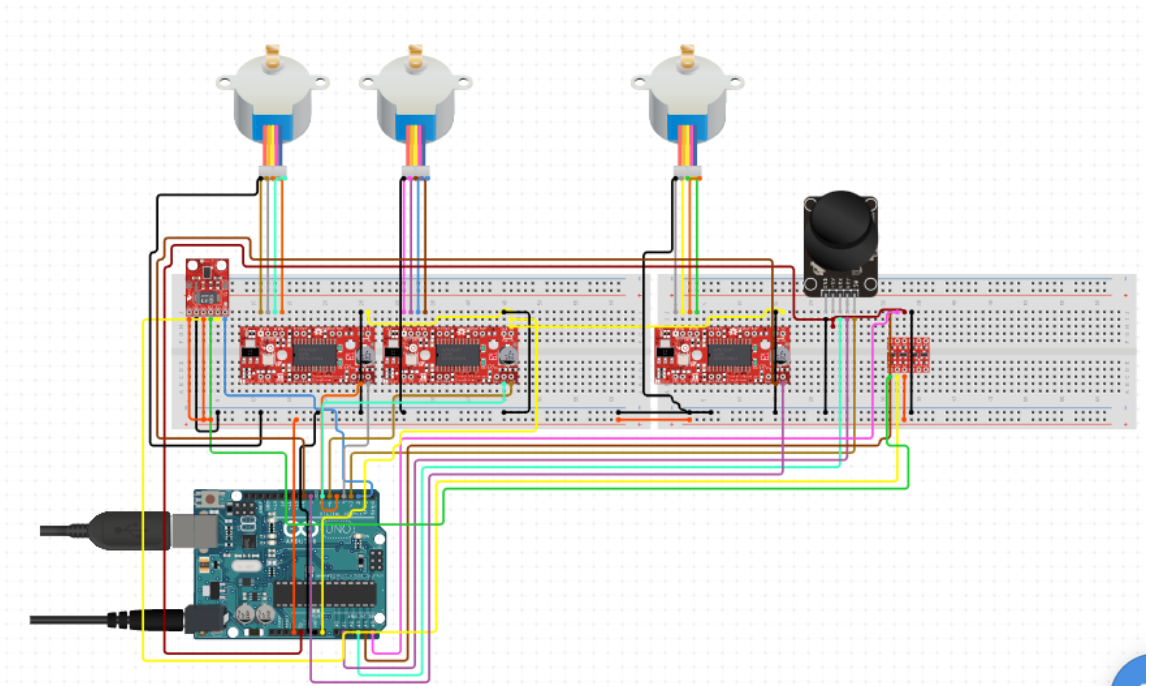
  if (sensorReading < 490) { small_stepper.step(1); } // step left
  if (sensorReading > 540) { small_stepper.step(-1); } // step right
  int sensorReading2 = analogRead(A1); // read value from joystick Y-axis
  if (sensorReading2 < 490) { small_stepper2.step(1); } // step forward
  if (sensorReading2 > 540) { small_stepper2.step(-1); } // step backward

}

```

Anexo G – Captura de ecrã com simulação de um esquema representativo das ligações finais do artefacto, composto por três motores de passo, um *joystick* de polegar e um sensor de gestos.

Esquema produzido utilizando recursos do programa “circuito.io” (<https://www.circuito.io/>)



Anexo H – *Sketch* utilizado para testes do funcionamento do artefacto no modo autónomo, antes da adição dos módulos sensores para o modo interativo. O código foi desenvolvido com recurso a bibliotecas Arduino e adaptado a partir de tutorial disponível *online* (<https://dronebotworkshop.com/stepper-motors-with-arduino/>).

```

//https://dronebotworkshop.com/stepper-motors-with-arduino/

//three steppers with UNL2003 driver
//Uses Accelstepper Library
//Include the AccelStepper Library
#include <AccelStepper.h>

// Define Constants
// Define step constants
#define FULLSTEP 4
#define HALFSTEP 8

// Define Motor Pins (3 Motors used)

// motor1
#define motorPin1 1 //roxo      - 28BYJ48 pin 1
#define motorPin2 3 //laranja   - 28BYJ48 pin 2
#define motorPin3 4 //verde     - 28BYJ48 pin 3
#define motorPin4 5 //azul      - 28BYJ48 pin 4

//motor2
#define motorPin5 6 //castanho  - 28BYJ48 pin 1
#define motorPin6 7 //preto     - 28BYJ48 pin 2
#define motorPin7 8 //branco    - 28BYJ48 pin 3
#define motorPin8 9 //cinzento  - 28BYJ48 pin 4

//motor3
#define motorPin9 10 //roxo      - 28BYJ48 pin 1
#define motorPin10 11 //cinzento - 28BYJ48 pin 2
#define motorPin11 12 //branco   - 28BYJ48 pin 3
#define motorPin12 13 //preto    - 28BYJ48 pin 4

// Define three motor objects
// The sequence 1-3-2-4 is required for proper sequencing of 28BYJ48

AccelStepper stepper1(HALFSTEP, motorPin1, motorPin3, motorPin2, motorPin4);
AccelStepper stepper2(HALFSTEP, motorPin5, motorPin7, motorPin6, motorPin8);
AccelStepper stepper3(HALFSTEP, motorPin9, motorPin11, motorPin10,
motorPin12);

void setup()
{
// put your setup code here, to run once:
// 1 revolution Motor 1 CW
stepper1.setMaxSpeed(1000.0);

```

```

stepper1.setAcceleration(10.0);
stepper1.setSpeed(100);
stepper1.moveTo(-2048);

// 1 revolution Motor 2 CCW
stepper2.setMaxSpeed(1000.0);
stepper2.setAcceleration(10.0);
stepper2.setSpeed(100);
stepper2.moveTo(2048);

// 1 revolution Motor 3 CW
stepper3.setMaxSpeed(1000.0);
stepper3.setAcceleration(10.0);
stepper3.setSpeed(100);
stepper3.moveTo(-2048);
}
void loop()
{
// put your main code here, to run repeatedly:

//Change direction at the limits
if (stepper1.distanceToGo() == 0)
stepper1.moveTo(-stepper1.currentPosition());
if (stepper2.distanceToGo() == 0)
stepper2.moveTo(-stepper2.currentPosition());
if (stepper3.distanceToGo() == 0)
stepper3.moveTo(-stepper3.currentPosition());

stepper1.run();
stepper2.run();
stepper3.run();
}

```

**Anexo I – *Sketch*** utilizado para ensaio do funcionamento do artefacto apto a funcionar no modo autónomo e interativo com adição dos módulos sensores.

O código foi desenvolvido com recurso a bibliotecas Arduino e adaptado a partir de sugestões de orientação a partir de código dos ensaios anteriores.

```

#include <Stepper.h>
#include <AccelStepper.h>

const int stepsPerRevolution = 64; // change this to fit the number of steps
per revolution

```

```

int sensorReading1, sensorReading2;

// for your motor
// Define step constants
#define FULLSTEP 4
#define HALFSTEP 8

// Define Motor Pins (3 Motors used)

// motor1
#define motorPin1 1 //roxo      - 28BYJ48 pin 1
#define motorPin2 3 //laranja  - 28BYJ48 pin 2
#define motorPin3 4 //verde    - 28BYJ48 pin 3
#define motorPin4 5 //azul     - 28BYJ48 pin 4

//motor2
#define motorPin5 6 //castanho - 28BYJ48 pin 1
#define motorPin6 7 //preto    - 28BYJ48 pin 2
#define motorPin7 8 //branco   - 28BYJ48 pin 3
#define motorPin8 9 //cinzento - 28BYJ48 pin 4

//motor3
#define motorPin9 10 //roxo     - 28BYJ48 pin 1
#define motorPin10 11 //cinzento - 28BYJ48 pin 2
#define motorPin11 12 //branco  - 28BYJ48 pin 3
#define motorPin12 13 //preto   - 28BYJ48 pin 4

// Define three motor objects
// The sequence 1-3-2-4 is required for proper sequencing of 28BYJ48

AccelStepper stepper1(HALFSTEP, motorPin1, motorPin3, motorPin2, motorPin4);
AccelStepper stepper2(HALFSTEP, motorPin5, motorPin7, motorPin6, motorPin8);
AccelStepper stepper3(HALFSTEP, motorPin9, motorPin11, motorPin10,
motorPin12);

// initialize the stepper library for both steppers:
//Stepper small_stepper1(stepsPerRevolution, 10,12,11,13);
//Stepper small_stepper2(stepsPerRevolution, 1,4,3,5);

void setup() {
// put your setup code here, to run once:

// 1 revolution Motor 1 CW
stepper1.setMaxSpeed(1000.0);
stepper1.setAcceleration(10.0);

```

```

stepper1.setSpeed(100);
stepper1.moveTo(-2048);

// 1 revolution Motor 2 CCW
stepper2.setMaxSpeed(1000.0);
stepper2.setAcceleration(10.0);
stepper2.setSpeed(100);
stepper2.moveTo(2048);

// 1 revolution Motor 3 CW
stepper3.setMaxSpeed(1000.0);
stepper3.setAcceleration(10.0);
stepper3.setSpeed(100);
stepper3.moveTo(-2048);
// set the speed of the motors
//small_stepper1.setSpeed(300); // set first stepper speed
//small_stepper2.setSpeed(300); // set second stepper speed

Serial.begin(9600);
}

void loop() {

    sensorReading1 = analogRead(A0); // read value from joystick X-axis
    sensorReading2 = analogRead(A1); // read value from joystick Y-axis

    //Serial.println(sensorReading1);

    if (sensorReading1 >495 && sensorReading1 <535 && sensorReading2 >495 &&
sensorReading2 <535)
    {
        autonomo();
    } else {
        interativo();
    }
}

void interativo(){
    if (sensorReading1 < 490) {
        if (stepper1.distanceToGo() == 0)
            stepper1.moveTo(-stepper1.currentPosition());
        stepper1.run();
        //small_stepper1.step(1);
    } // step left
    if (sensorReading1 > 540) {
        if (stepper1.distanceToGo() == 0)

```

```

    stepper1.moveTo(stepper1.currentPosition());
    stepper1.run();
    //small_stepper1.step(-1);
} // step right
if (sensorReading2 < 490) {
    //small_stepper2.step(1);
} // step forward
if (sensorReading2 > 540) {
    //small_stepper2.step(-1);
} // step backward

    Serial.println("desativado");
}

void autonomo(){
    // put your main code here, to run repeatedly:

    //Change direction at the limits
    if (stepper1.distanceToGo() == 0)
        stepper1.moveTo(-stepper1.currentPosition());
    if (stepper2.distanceToGo() == 0)
        stepper2.moveTo(-stepper2.currentPosition());
    if (stepper3.distanceToGo() == 0)
        stepper3.moveTo(-stepper3.currentPosition());

    stepper1.run();
    stepper2.run();
    stepper3.run();

    Serial.println("ativado");
}

```