

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO
CENTRO DE CIÊNCIAS MATEMÁTICAS E DA NATUREZA
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM
HISTÓRIA DAS CIÊNCIAS, DAS TÉCNICAS E EPISTEMOLOGIA - HCTE**

PAULA WIENSKOSKI

O PAPEL DA BELEZA NA FORMAÇÃO
DE TEORIAS FÍSICAS NO SÉCULO XX –
CONTRIBUIÇÕES PARA UMA
PROPOSTA EPISTEMOLÓGICA

Rio de Janeiro

2018

PAULA WIENSKOSKI

**O PAPEL DA BELEZA NA FORMAÇÃO DE TEORIAS FÍSICAS NO SÉCULO XX –
CONTRIBUIÇÕES PARA UMA PROPOSTA EPISTEMOLÓGICA**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Programa de Pós-Graduação em História das Ciências, das Técnicas e Epistemologia - HCTE da Universidade Federal do Rio de Janeiro, como requisito à obtenção do título de doutora em História da Ciência.

Orientadores:

Prof. Dr. Carlos Benevenuto Guisard Koehler – HCTE/UFRJ

Prof. Dr. José Abdalla Helajel-Neto – CBPF/MCTIC

Rio de Janeiro

2018

CIP - Catalogação na Publicação

W647p

WIENSKOSKI, PAULA

O PAPEL DA BELEZA NA FORMAÇÃO DE TEORIAS FÍSICAS NO SÉCULO XX - CONTRIBUIÇÕES PARA UMA PROPOSTA EPISTEMOLÓGICA / PAULA WIENSKOSKI. -- Rio de Janeiro, 2018.

109 f.

Orientador: CARLOS BENEVENUTO GUIARD KOEHLER.

Coorientador: JOSÉ ABDALLA HELAYÉL NETO.

Tese (doutorado) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Decania do Centro de Ciências Matemáticas e da Natureza, Programa de Pós-Graduação em História das Ciências e das Técnicas e Epistemologia, 2018.

1. Epistemologia. 2. Beleza. 3. Física. 4. Estética. I. GUIARD KOEHLER, CARLOS BENEVENUTO, orient. II. HELAYÉL NETO, JOSÉ ABDALLA, coorient. III. Título.

PAULA WIENSKOSKI

**O PAPEL DA BELEZA NA FORMAÇÃO DE TEORIAS FÍSICAS NO SÉCULO XX –
CONTRIBUIÇÕES PARA UMA PROPOSTA EPISTEMOLÓGICA**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Programa de Pós-Graduação em História das Ciências, das Técnicas e Epistemologia - HCTE da Universidade Federal do Rio de Janeiro, como requisito à obtenção do título de doutora em História da Ciência.

Rio de Janeiro, 29 de Março de 2018.

Prof. Dr. Carlos Benevenuto Guisard Koehler – HCTE/UFRJ
Orientador

Prof. Dr. José Abdalla Helayël-Neto – CBPF/MCTIC
Orientador

Prof. Dr. Amaury Fernandes da Silva Junior – ECO/UFRJ

Prof. Dr. Francisco Caruso – HCTE/UFRJ - CBPF/MCTIC

Prof. Dr. João Cândido Portinari – PUC RJ

Prof. Dr. Oscar Toshiaki Matsuura – MAST - IAG/USP

Prof. Dr. Roberto Moreira Xavier de Araújo – CBPF/MCTI



Vocês iam adorar isso!

Aos meus pais, *in memoriam*.

AGRADECIMENTOS

A todos os amigos que me aturaram durante nesse período, perdoaram meu desaparecimento, aguentaram meus resmungos infundáveis e me incentivaram a prosseguir com esse projeto.

Aos professores do HCTE Alexandre Lyra de Oliveira, Carlos Benevenuto Guisard Koehler, José Carlos de Oliveira e Nadja Paraense com quem muito aprendi em sala de aula.

Aos meus colegas de HCTE, especialmente à querida Claudia Abreu, que bateram palmas, debateram, indicaram livros, criticaram, enviaram artigos, sugeriram mudanças e fizeram de tudo para eu chegar até o final.

Ao prof. Ildeu de Castro Moreira, meu primeiro orientador, pelas preciosas informações e debates; e aos meus atuais orientadores, Carlos Koehler e José Abdalla Helajel Neto, pelo apoio constante, por tirarem minhas (inúmeras!) dúvidas, pelas valiosas aulas e explicações.

Aos membros da banca de qualificação que muito enriqueceram meu trabalho com suas sugestões.

À querida colega Zulena Santos por sua inestimável revisão técnica.

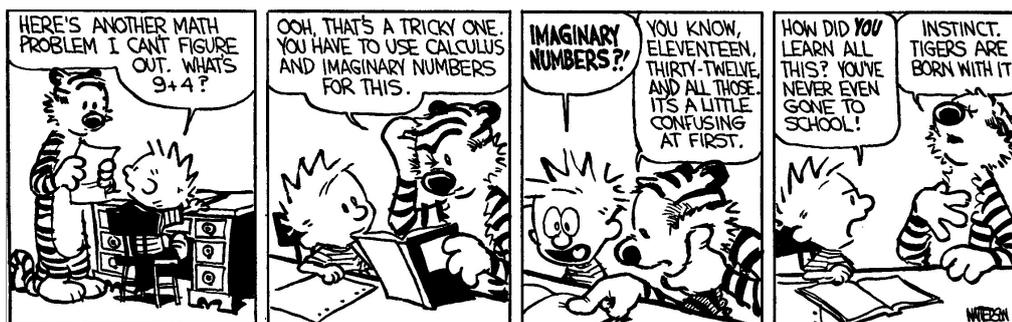
À muito querida Fernanda Cupollilo pela revisão gentil e atenciosa.

Ao meu irmão Edmar por ter trazido toneladas (!) de livros.

Ao queridíssimo André Bordalo por ter recebido outras tantas toneladas!

Aos meus doces Alice Brito, Daniela Nistra, Marcia Beatriz Bello e Simone Martins que sempre me apoiam, mais que na tese, na vida.

E, não menos importante, às “conjuminências rebarbativas” de Carlos Walter, madrugada a dentro, que tornaram o jugo mais leve.



*O que há de mais belo que a luz, que mesmo não tendo cor em si,
Faz aparecerem as cores de todas as coisas, iluminando-as?*

Hugo de Saint-Victor (sec. XIII)

*We all know that Art is not truth.
Art is a lie that makes us realize truth.*

Pablo Picasso (1881-1973)

*Science must begin with myths,
And with the criticism of myths.*

Karl Popper (1902-1994)

*Philosophy of Science without History of Science is empty;
History of Science without Philosophy of Science is blind.*

Imre Lakatos (1922-1974)

RESUMO

Este trabalho de pesquisa levanta a seguinte hipótese: de que o conceito de Beleza pode constituir um instrumento epistemológico para teorias da Física. O contexto da pesquisa sugerida estuda o papel do conceito de Beleza da forma como é abordado pelos físicos modernos e que relevância exerce no processo de construção das suas teorias científicas. Na Epistemologia, irá apontar as teorias condizentes com a proposta dessa tese e observar de que forma a Beleza se insere no processo de construção do conhecimento científico. Na Estética, um breve histórico apresentará um escopo de definições acerca do conceito de Beleza e, no campo da Física, apontaremos alguns exemplos históricos de filósofos naturais e cientistas que já conectavam Beleza e Ciência na busca pelo entendimento do universo. No século XX a pesquisa emprega como exemplo as opiniões dos físicos Paul Dirac, Richard Feynman e Murray Gell-Mann, que incorporaram a noção de Beleza ao processo de criação e desenvolvimento da sua produção intelectual. Por fim, serão traçadas linhas comparativas entre a Estética, a Epistemologia e a Física, compreendendo suas correlações e apresentando um conjunto de elementos e definições que podem ser empregadas pelas três áreas de conhecimento, constituindo parâmetros para uma proposta de Epistemologia Estética.

Palavras-chave:

estética, física, epistemologia, beleza, teorias científicas, epistemologia estética

ABSTRACT

This research holds this hypothesis: that the idea of Beauty can constitute an epistemological tool for Theories of Physics. The context of the suggested research studies the role of the concept of Beauty in the way modern physicists approach it and what relevance does it have in the process of construction of their scientific theories. Epistemology will appoint which theories concur with the proposal of this thesis and observe in which ways Beauty is inserted in the processes of construction of scientific knowledge. Through Aesthetics, a brief historic study will present a scope of definitions about the concept of Beauty and, on the field of Physics we will show some historic examples of natural philosophers and scientists that already connected Beauty and Science on the search for the understanding of the universe. For the XXth century our research will employ as example the opinions of physicists Paul Dirac, Richard Feynmann and Murray Gell-Mann, that have incorporated the notion of Beauty in their own processes of creation and development of intellectual production. At last, comparative lines of interaction will be drawn between Aesthetics, Epistemology and Physics, understanding their correlations and presenting a set of elements and definitions that can be used by the three areas, becoming parameters for a proposal of an Aesthetic Epistemology.

Keywords:

aesthetics, physics, epistemology, beauty, scientific theories, aesthetical epistemology

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO	11
1 A ESTÉTICA E A EPISTEMOLOGIA se relacionam em diferentes patamares na tecitura de teorias criadas para pensar e compreender o universo. Na epistemologia, as proposições acerca das formas como o conhecimento humano é construído vão, paulatinamente, abrindo espaço de crescimento para a criação de hipóteses que fogem aos modelos de demarcação científica já consolidados. Experimentos mentais ganham uma nova relevância na proposição de ideias que rompem paradigmas estabelecidos na ciência. Nesse processo, a Beleza permeia a construção do conhecimento.	19
2 A BELEZA faz parte de uma herança cultural do ser humano. Ela se destaca diante da nossa necessidade de entender e ordenar o mundo e se reflete no nosso comportamento. É usada como referencial por filósofos e artistas e agrega elementos teóricos e formais. O estudo sobre a Beleza enquanto um saber formal, a Estética, aponta os contornos que definem o Belo de acordo com os movimentos histórico-culturais da humanidade. Ao estudarmos a Beleza, elencamos os conceitos empregados na árdua tarefa de defini-la e compreende-la.	31
3 A FÍSICA E A BELEZA constroem um diálogo peculiar, tendo na Matemática uma linguagem comum, desenvolvendo elementos próprios. Físicos também podem exercer o papel de estetas e, na sua pesquisa, deixar a Beleza guiar os seus passos na construção de um quadro teórico-científico, auxiliados por elementos instrumentais estéticos específicos.	46
4 UM DIÁLOGO seria possível entre esses conjuntos de elementos acerca do Belo que têm origem em saberes tão distintos? Queremos demonstrar a capacidade da Física de dialogar com a Arte através de uma linguagem e de um fio narrativo comum entre ambos os saberes. Propomos um espaço de intersecção, onde artistas e cientistas possam desenvolver uma melhor compreensão do olhar do outro sobre o Belo e uma contribuição à possível construção de uma Epistemologia Estética.	59
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	73
APÊNDICE	82
ANEXO	93

I ntrodução

“The main thing I want to talk about is this: that we have this remarkable experience in this field of fundamental physics that beauty is a very successful criterion for choosing the right theory”. Murray Gell-Mann¹

Esse estudo se inspira na essência de um trecho e um poema de Álvaro de Campos (Fernando Pessoa): “O binómio de Newton é tão belo como a Vénus de Milo. O que há é pouca gente para dar por isso (...)”. Há mesmo muito que se ver de belo em comum entre Arte e Ciência, mas poucos são capazes de compreendê-lo. No poema a relação se dá pela comparação entre cânones das Artes Plásticas e da Matemática. Aqui, entre os elementos que constituem o conceito de Beleza e sua aplicação na construção do conhecimento; em especial, na Física.

Ao iniciar o curso no HCTE, minhas inclinações pelas Ciências Naturais, em especial, a Física, me levaram a uma proposta de pesquisa que naturalmente uniria esta disciplina à minha formação na Escola de Belas Artes. A Epistemologia foi onde esses interesses se encontraram e surgiu a ideia da tese.

De que maneiras o Belo é definido e como podemos enxergar sua presença em manifestações aparentemente díspares como uma obra de arte e uma equação matemática? Uma das ideias que chamou atenção para esse assunto foi uma frase do físico J.R. Oppenheimer: “(...) a tomada de decisão constante e a escolha entre alternativas é uma característica de ambas as práticas artística e científica. (...) Ambos artista e cientista combinam elementos de experiência que ninguém mais concebeu como pertencendo juntos”.²

Daqui nasceu a ideia de estudar que importância tem o conceito de Beleza na criação e no desenvolvimento de ideias na Física, particularmente entre os físicos modernos. Este conceito de Beleza na opinião de alguns artistas e cientistas, ora é radicalmente diferente na Arte e na Ciência, ora possui coisas em comum. Em cada área, é composto de opiniões, princípios, qualidades e ideias os quais nesse trabalho chamaremos de “elementos”, que tentam

¹ “A coisa principal da qual eu quero falar a respeito é o seguinte; nós temos essa experiência incrível nesse campo da física fundamental em que a beleza é um critério bem-sucedido para a escolha da teoria correta”. GELL-MANN (2015).

² “(...) constant decision-making and choosing between alternatives is a characteristic of both artistic and scientific endeavors. (...) Both artist and scientist combine elements of experience which no one else had conceived of as belonging together”. OPPENHEIMER (1979).

dar conta de explicar o que é ser Belo. A Beleza é definida por esse conjunto de elementos, recolhidos ao longo da nossa história cultural.

Eis o objetivo maior desta tese:

Estudar esta relação entre elementos, sua relevância e os critérios com que são aplicados é fundamental para entendermos melhor esse processo de criação dentro da cultura científica que, baseada em considerações de ordem estética, recuperou seu valor e consolidou sua presença entre os físicos modernos. Esse estudo também poderá ser útil no auxílio à pavimentação de um novo caminho para a Epistemologia, no que diz respeito à compreensão clara dos instrumentos empregados pela Estética na Física.

Propomos aqui que os elementos que constituem o conceito de Beleza, na Estética e na Física possam ser elencados como critérios para formular uma metodologia epistemológica – uma ferramenta de construção de conhecimento

E pretendemos atingir esse objetivo através do estudo da Estética na Física e na Arte, no qual tentaremos identificar os elementos que se fizeram destacar na formação das definições de Beleza ao longo dos anos. O intuito é o de melhor entender como se forjou o conceito de Beleza a partir do elenco de instrumentos teóricos empregados nas definições de Belo. Ao comparar esses conjuntos de elementos formais, tanto na Arte quanto na Física, perceberemos se há ou não interseção entre esses saberes e se é possível estabelecer um diálogo, através do qual se formará o conjunto de ferramentas a serem empregadas por um novo método de investigação, uma “Epistemologia Estética”.

Esta tese não irá adentrar nas questões das definições e relações entre Arte e Ciência, no que diz respeito a julgar que obras integram em si a Ciência ou quais se utilizam de tecnologias para criar objetos artísticos. Igualmente não cabe distinguir quem é ou não artista, ou validar Arte como Ciência ou obras científicas/tecnológicas como Arte. Esses seriam, certamente, objeto de outras pesquisas.

Pressupostos teóricos

A dita insuficiência da observação empírica e da indução para se construir uma teoria científica já vem sendo apontada há muito por diversos pensadores, como David Hume (1711-1776), que afirmava ser impossível chegar a uma lei universal através da indução, pois a mera repetição dos fenômenos não garante a sua recorrência universal. A indução não prova logicamente nada; todo conhecimento é gerado pela percepção que temos dos fenômenos à

nossa volta, sem ser possível, no entanto, chegarmos ao *nous* (ou seja, a realidade última das coisas) contido nos fenômenos.

Com Immanuel Kant (1724-1804), dúvidas a respeito da validade lógica da indução, fundamentadas em Hume, levaram-no a questionar de que forma alcançar uma ciência pura e verdadeira, já que tal verdade absoluta seria inatingível pela via indutiva. A solução por ele proposta está na existência de um “conhecimento sintético *a priori*”. Sintético porque o predicado estaria fora da concepção do sujeito (por exemplo, em “todos os corpos são pesados”). Ao contrário, na proposição analítica o predicado é parte integrante da concepção do sujeito (como em “o irmão do meu pai é meu tio”). E *a priori* por ser uma proposição ou um julgamento conhecido sem se basear numa experiência; verdadeiro e evidente em seu enunciado. Doutra forma seria empírico.³ Ou seja, é um conhecimento intuído, que se tem sobre o mundo fora do sujeito, mas que é verdadeiro sem ter sido feita qualquer experiência para comprová-lo.

Ambos os filósofos quebraram tradições com essas radicais especulações sobre a formação do conhecimento. No século XX, Karl Popper (1902-1994), com suas ideias de “conjecturas e refutações” e o conceito de falseabilidade, abriu um novo caminho para as pesquisas epistemológicas que rejeitavam as visões do Indutivismo Clássico (que usa o *Modus Ponens*, que levaria aos universais), sem, contudo, abandonar o conceito de Ciência Empírica (tal como Kant o havia rejeitado com o sintético *a priori*). Segundo ele, uma teoria poderia nunca ser provada verdadeira, mas bastaria ser falseável uma única vez para estar errada. Esta proposta ficou então conhecida como a Doutrina do Falseamento ou Falsificacionismo (que emprega o *Modus Tollens* e leva à certeza da falsidade e não da verdade)⁴. Esse é, para Popper, o critério de demarcação filosófica para uma teoria ser ou não científica: ser falseável em princípio.

Imre Lákatos (1922-1974) foi grandemente influenciado pela obra de Karl Popper e pelas críticas de Thomas Kuhn (1922-1996) – para quem o falseamento não era passível de ser efetivado por um único experimento. Lákatos é conhecido por propor uma “metodologia de programas de pesquisa”, que permitiria a proposição de conjecturas as quais, vinculadas a várias teorias auxiliares, protegeria o programa contra refutações como um todo: há que se falsear todo um conjunto de teorias para se alcançar o falseamento definitivo do núcleo do programa.

³ VAN CLEVE, James. In: SOSA (1992).

⁴ POPPER (1972) e (1972b).

Essa metodologia propõe a existência de um “núcleo duro”⁵ dentro desse programa (as conjecturas), protegido por um “cinturão protetor”, ou seja, um conjunto satélite de teorias auxiliares, que têm como função proteger o núcleo duro (possuidor de uma “heurística negativa”) dos resultados dos experimentos de refutação. Isso se dá através de uma “heurística positiva”, portadora de hipóteses (*ad hoc* ou não) para as anomalias que vierem a aparecer com intuito de refutar a pesquisa principal, permitindo a eventual continuação do programa de pesquisa. A continuação é possível pela manutenção da heurística positiva do núcleo duro⁶. Uma importante consideração a ser feita a respeito de Lákatos é o fato de colocar em pauta que esse cinturão protetor é formado por teorias baseadas tanto na história interna quanto na história externa relacionadas ao programa de pesquisa.

Thomas Kuhn, além de crítico do experimento único de falseamento de teorias em Popper – por considerar que a adoção de alguma hipótese *ad hoc* poderia invalidar o experimento – é o proponente da ideia de “mudança paradigmática” do conhecimento científico. Segundo ele, todas as áreas da ciência passam periodicamente por uma mudança de paradigmas, em vez de progredirem de forma linear. Sua transformação se daria através de revoluções de conhecimento próprio da ciência, que criariam a oportunidade para que novos paradigmas pudessem emergir.

Esta tese não adota a ideia da revolução científica de Kuhn, pelo simples fato de que não estamos propondo uma análise das quebras de paradigma científico, mas sim a possibilidade de introdução de um método para ser adotado em conjunto com as metodologias já existentes na construção do conhecimento.

O conceito de Epistemologia empregado neste trabalho, para fins de generalização prática, é de estudo do conhecimento científico, como forma reduzida de uma “Epistemologia da Ciência”, subdisciplina da Filosofia em que o termo “Epistemologia” *per se* define o estudo do conhecimento em geral.⁷

O problema da demarcação da Ciência é enfocado de formas diferentes entre as escolas de pensamento, sendo que o ponto de vista adotado nesta pesquisa corresponde às ideias formuladas por Popper e a sua expansão e adaptação em Lákatos, com a metodologia de programas de pesquisa. Ambos admitem a proliferação de teorias no contexto de descoberta, a serem selecionadas posteriormente no contexto de justificação.

⁵ “*hard core*”.

⁶ (1976) e (1979).

⁷ MOREIRA e MASSONI (2011).

E quando tratamos de Ciência, estamos nos referindo à Ciência Pura, sem incluir suas aplicações práticas, técnicas ou tecnológicas, ainda que conscientes da dificuldade de limitar rigorosamente essa fronteira: “os experimentos [Otto] Hahn com a fissão [atômica] foram descobertas; a fabricação da bomba, uma invenção”.⁸ Não cabem na tese colocações de juízo moral ou ético sobre as descobertas científicas. Técnicas, tecnologias e aparatos tecnológicos podem ser analisados em outro contexto ou com outro enfoque, mas que não correspondem ao deste trabalho.

Pesquisando sobre a Beleza

O uso da imaginação científica na Epistemologia, segundo Gerald Holton⁹ (1922-), envolve o uso da análise temática, bastante familiar no campo na análise literária, que implica compreender a criação científica a partir de temas recorrentes na História da Ciência, de onde saem praticamente todas as ideias. Ao todo, Holton identificou mais de 50 *thematha*, ou temas fundamentais, que se apresentam na forma de díades do tipo tese x antítese, ou tríades dialéticas menos frequentes no formato tese x antítese x síntese. As *thematha* abordam questões da natureza, tais como: contínuo x discreto (ou onda x partícula); permanente x transitório (ou Parmênides x Heráclito); números x forma (ou Pitágoras x Platão) etc.

Essas *thematha* também foram identificados por Bertrand Russell (1872-1970) na filosofia grega, as quais ele denomina “dualismos”: “Sob uma forma ou de outra, estes continuaram sendo tópicos sobre os quais os filósofos escrevem e discutem. Na base de todos está a distinção entre Verdade e Falsidade”.¹⁰

Esses dualismos também surgem através de outros pares de antíteses na Física. Por exemplo, Michael Faraday (1791-1867), trabalhando com polos magnéticos e elétricos, vê na Natureza das coisas uma díade similar. O universo funcionaria em função da movimentação dessas forças opostas. A unidade formada de partes opostas resume para Niels Bohr (1885-1962) uma visão de mundo que ele propõe com o Princípio da complementaridade e está presente no brasão que desenha para si próprio: a imagem de yin-yang e o moto “*Contraria sunt complementa*”.¹¹

Também na Arte, a pesquisa sobre recorrências temáticas e visuais encontra pontos de convergência no levantamento de imagens feito por Aby Warburg (1866-1929), entre 1924-29,

⁸ HEISENBERG (2011), P. 229.

⁹ HOLTON (1978).

¹⁰ RUSSELL (2017), p. 19.

¹¹ “*Os contrários se complementam*”. Veja imagem 01 no Anexo.

que comporta o inacabado *Atlas Mnemosine*¹². Seguindo uma lógica intuitiva do autor, o atlas tenta mostrar o poder de determinados símbolos e representações visuais através das suas recorrências nas artes visuais, dos gregos à Alemanha de Weimar. O uso de pranchas independentes permitia diferentes montagens de narrativas sobre essas imagens e um mapeamento de suas simbologias de diferentes pontos de vista, da Arte à Astronomia, dos temas recorrentes nos movimentos artísticos às noções científicas.

Esse conjunto de ideias sobre as recorrências de temas e imagens na Ciência deu subsídios estruturais para esta pesquisa sobre a Beleza. Olhando para suas manifestações na Epistemologia, na Estética e na Física separadamente, fomos catalogando essas definições, abordagens e elementos para, ao final do trabalho, identificar os elementos em comum e os próprios de cada área específica, com o objetivo de montar um quadro sobre a Beleza que abrangesse os três campos de conhecimento.

Sobre a estrutura da tese

Eventualmente o texto poderá adquirir um tom didático. Deseja-se que ele sirva de referência de leitura para especialistas, bem como para leitores cuja área de expertise não contemple alguma das disciplinas abordadas no trabalho. As datas da Linha do Tempo apresentada no capítulo 3 foram aproximadas ao máximo do momento da descoberta científica, mas sem deixar de considerar todo o contexto anterior de pesquisas feitas por outros cientistas que podem datar de até décadas antes da consolidação da descoberta. Esses fatos foram selecionados para contar, em pinceladas, a história da Física Moderna e das principais descobertas que tanto mudaram a nossa visão de mundo.

Também se buscou a concisão. Ao abordarmos três áreas distintas do conhecimento a serem inter-relacionadas, cada capítulo tendia a ser muito extenso, o que tornaria a tese uma leitura cansativa. Dessa forma, pedimos de antemão que se desconsiderem as omissões que possam ter ocorrido na necessidade de se decidir pela relevância dos fatos a serem mencionados, sempre lembrando que nenhuma escolha é isenta, e somos levados por vezes a escolher, ainda que inconscientemente, os caminhos com os quais estamos mais familiarizados.

A escrita do texto segue a linha de um pensamento flexível. O sumário deixa claro o conteúdo e o papel de cada capítulo na construção da narrativa como um todo, e os capítulos 1 a 3 podem ser lidos em qualquer ordem. Para melhor compreensão do texto final, cada um deles irá expor uma parte da pesquisa, ressaltando um aspecto essencial da área do conhecimento

¹² <<https://warburg.library.cornell.edu/about>> - Veja imagem 02 no Anexo.

abordado. O capítulo 4 se dedica a relacionar as ideias expostas nos capítulos anteriores, formando o quadro geral que nos propomos a alcançar. Enxergar este quadro geral é necessário porque na realidade cotidiana todas as manifestações da cultura estão entrelaçadas, como propõe, entre outros, Alexandre Koyré¹³. Na conclusão, teremos uma visão mais coerente em um quadro mais completo da tese. A Beleza servirá como conceito unificador para dar forma a essa construção.

Deixamos propositalmente de fora desta introdução a apresentação dos capítulos. Esta ficou a cargo do sumário. O seu formato diferente dos tradicionais foi tomado emprestado do sumário da obra *Contra o método*, de Paul Feyerabend (1924-1994). Assim como no seu livro, neste trabalho cada parágrafo de capítulo já resume o que será apresentado nas suas respectivas páginas. Além disso, o sumário pode ser lido de forma contínua, formando um pequeno texto sobre a tese.

Epistemologia Estética ou Estética Epistemológica?

Esclarecemos inicialmente que nenhum desses termos se refere ao uso da Epistemologia para compreender a Estética (tarefa já empreendida em outros estudos na área literária e filosófica), que seria então uma “Epistemologia *da* Estética”¹⁴, que não é relevante para essa tese. O termo “Estética Epistemológica” seria, a nosso ver, uma forma de olhar a Estética sob o ponto de vista da construção do conhecimento (abordado no primeiro capítulo), ou seja, a maneira como a Estética é empregada como instrumento heurístico e epistemológico. É apenas uma parte inserida no todo da pesquisa. Nesse contexto, a Beleza seria uma ferramenta de escolha.

Faz-se necessário esclarecer que o que estamos denominando de “Epistemologia Estética” corresponde a um sentido mais abrangente. Trata-se de um método que busca ampliar a Epistemologia, com a inclusão da Estética como recurso de fundamentação da pesquisa científica, através do uso dos elementos que formam o conceito de Beleza como instrumental. Nesse contexto, a Beleza é um método *per se*, com seu próprio conjunto de ferramentas.

Em resumo, o estudo aqui proposto acerca da Estética na Arte e na Física deseja contribuir para alinhar a ideia de uma possível ferramenta de construção epistemológica baseado na Beleza. Poderia o Belo assumir o papel fundamental de constituir uma nova forma de geração de conhecimentos, um novo campo de trabalho na Epistemologia?

Eis o que convidamos os leitores a descobrir...

¹³ KOYRÉ (1982).

¹⁴ (grifo nosso).

1 A Estética e a Epistemologia

se relacionam em diferentes patamares na tecitura de teorias criadas para pensar e compreender o universo. Na epistemologia, as proposições acerca das formas como o conhecimento humano é construído vão, paulatinamente, abrindo espaço de crescimento para a criação de hipóteses que fogem aos modelos de demarcação científica já consolidados na história. Experimentos mentais ganham uma nova dimensão na proposição de ideias que rompem paradigmas estabelecidos na ciência. Nesse processo, a Beleza permeia a construção do conhecimento.

Entender a construção do conhecimento científico e a forma como as metodologias são empregadas é fundamental para identificar como a Estética se insere na Epistemologia. Tendo a Beleza como guia, indaga-se o que é possível aprender acerca do universo, o quanto e de que maneiras. Na história cultural, quando os mitos deixaram de prover respostas capazes de satisfazer às nossas questões sobre o universo, o homem percebeu que podia racionalizar acerca da natureza e dos fenômenos à sua volta e, a partir daí, realizar a busca por uma *episthème* – o conhecimento como verdade absoluta e universal.

Esta certeza da verdade absoluta vai se esvanecendo no decorrer do desenvolvimento da ciência. Foi fortalecido com o advento da concepção newtoniana de mundo – uma cosmovisão que incluía a causalidade, o espaço e tempo absolutos. O Iluminismo – e o conceito de Razão Absoluta –, reiterou tal visão. O advento da geometria não-euclidiana e, principalmente, da Física Moderna acabou por retirar as certezas antes depositadas nesse tipo de busca epistêmica.

O campo da Epistemologia testemunha, no fim do século XIX, a criação por Ernst Mach (1838-1916) da cátedra de Filosofia da Ciência, na Universidade de Viena. Ele propunha uma filosofia da ciência que surge da incapacidade de a epistemologia clássica compreender os conhecimentos contemporâneos não integrados aos estudos já fundamentados sobre a teoria do conhecimento. O Empírio-criticismo, criado pelo filósofo Richard Avenarius (1843-1896) e defendido por Mach, baseia-se no princípio da experiência pura: todo o conhecimento advém do que pode ser apreendido pelas nossas sensações e corroborado por teorias científicas. Nesse sentido, toda e qualquer experiência de ordem metafísica é descartada como mero construto fantasioso da mente.

Essa filosofia se afirmou entre o Positivismo de Auguste Comte (1798-1857), que estabelecia como única forma de conhecimento verdadeiro o chamado “positivo”, construído a

partir da observação e mensuração dos fenômenos, experimentação e indução, recusando quaisquer proposições de cunho metafísico, que seriam destituídas de sentido. E também as vertentes do Positivismo Lógico (do Círculo de Viena) e do Neoempirismo Lógico (do Círculo de Berlim), que afirmam que todo o conhecimento advém da apreensão sensorial do mundo, através da observação e experimentação, conjugados com a construção lógica da linguagem e dos modelos utilizados na ciência positiva.

Quando a Filosofia da Ciência se torna uma área separada da Teoria do Conhecimento surge a necessidade de se criar novos fundamentos científicos coerentes com as descobertas científicas da virada do século XIX. Essas teorias buscavam respostas para as novas ciências que emergiam pouco antes da Primeira Guerra, questionando como a Psicanálise, o Marxismo, a Relatividade e a Mecânica Quântica se encaixariam na descrição das ciências clássicas.

O Positivismo Lógico, também conhecido como Neopositivismo, foi desenvolvido pelos membros do Círculo de Viena, no período de 1922 a 1936, e coordenado por Moritz Schlick (1881-1936). Essa filosofia adota uma forma de Empirismo Indutivista como critério de cientificidade, utilizando-se de instrumentos analíticos (como a lógica e a matemática) para prover os enunciados de completude e consistência, e de critérios de verificabilidade (como a observação e a experimentação) para a comprovação da verdade dos enunciados. Desejava chegar a uma teoria unificada da ciência, mais fundamental – na qual tudo pudesse ser reduzido a explicações científicas –, com uso de uma linguagem comum através da qual todas as afirmações científicas pudessem ser expressas.

Um possível delineamento histórico dos processos de construção científica também é apresentado por Imre Lákatos (1922-1974)¹⁵, no qual ele reduz as tentativas de metodologias a três grupos: o Indutivismo – proposta de se chegar ao conhecimento através de Leis Gerais ou Universais, partindo de observações particulares, sendo uma consequência de alguns tipos de empirismo ; o Convencionalismo – que afirma que um mesmo conjunto de fenômenos físicos pode ser adequado e indiferentemente explicado por variadas teorias, cabendo ao estudioso uma escolha que pode ser baseada em critérios como simplicidade, gosto, estética etc; e o Falsificacionismo – linha epistemológica defendida principalmente por Karl Popper (1902-1994), que nega a possibilidade de se chegar a proposições universais por via indutiva e propõe, em substituição, que isso seja feito através de um único experimento crucial (*experimentum crucis*), capaz de invalidar a universalidade da referida proposição ou lei. Complementa-se a sua exposição com outros artigos ligados à sua própria metodologia: para Lákatos, a criação

¹⁵ LÁKATOS In: HOWSON (1976).

matemática e as considerações de simetria podem aumentar o conteúdo da teoria, sem a necessidade de realização obrigatória de experimentos e/ou observações, ou seja, apenas através de argumentações não indutivistas.

O Convencionalismo foi apresentado como a doutrina que afirma que vários fenômenos em física podem ser explicados por diferentes teorias matemáticas e que oferece ao pesquisador a escolha por um método que lhe seja mais conveniente. No conhecimento matemático, é definido como “a visão de que teoremas matemáticos são verdadeiros por convenção”.¹⁶

Foi a questão da geometria que chamou a atenção de Henri Poincaré (1854-1912). Para ele, a adoção – a partir da questão levantada sobre a medição da extensão de um corpo em movimento pelo espaço – da Geometria Euclidiana (Lorrenz) ou da Não-Euclidiana (Einstein), deveria ser uma livre escolha do cientista, visto que os resultados se apresentavam idênticos.

A raiz do método científico embasa-se na dúvida sistemática. Quando existem certezas absolutas, cai-se no dogmatismo (muitas vezes alimentado pela ilusão da existência de verdades autoevidentes) ou, inversamente, a dúvida permanente nos leva ao ceticismo paralisante. Por isso, costuma-se dizer que a ciência e, portanto, sua análise crítica, oscila sempre em algum ponto entre o ceticismo e o dogmatismo. O oposto da dúvida sistemática é a doutrina da verdade autoevidente, seja pela observação empírica, seja pela análise racional *a priori*.

Tradicionalmente, a Filosofia da Ciência Empirista Clássica e Neopositivista recente apresenta o problema da demarcação científica utilizando como solução o método proposto pelo Verificacionismo¹⁷, segundo o qual qualquer conhecimento, para ser cientificamente válido, tem que ser verificável por observação ou experimentação, seja em sua vertente indutivista ou não (o que para nós não é relevante).

Empirismos e racionalismos de variadas matizes – através dos quais todo conhecimento assegurado (*episthème*) advém da utilização da razão, da lógica e da dedução, em oposição ao conhecimento empírico obtido através dos sentidos e que pode ser ilusório – vêm, desde então, procurando conceituar a demarcação do fazer científico, uma questão que vem permeando a Teoria do Conhecimento, estando presente desde Platão e Aristóteles.

Tradicionalmente, os empiristas puros, os positivistas e outros pensadores da ciência têm se restringindo, em geral, ao Contexto de Justificação e resumem o problema através do que costumeiramente denomina-se como Doutrina do Verificacionismo, na qual a validade da Ciência é determinada pela possibilidade da confirmação empírica de suas proposições.

¹⁶ STEINER, Mark. Convencionalism. In: DANCY e SOSA. *A Companion to Epistemology*, p. 275.

¹⁷ Trata-se de outra forma de afirmar um empirismo radical, a principal proposta do Positivismo.

A Epistemologia esteve bastante voltada para a validação de teorias em um contexto de justificação: um conjunto de circunstâncias que analisa a forma pela qual os pesquisadores procuram demonstrar a validade científica daquilo que tentam provar. Trata-se em geral como irrelevante o contexto de descoberta, a parte do histórico da descrição da existência de um fenômeno que, entre outras coisas, determina se ocorreu um desvelamento de algo pré-existente ou a intervenção humana na invenção de um objeto conceitual ou material e como se deu este processo¹⁸. Algumas correntes epistemológicas desconsideram a existência destes contextos de forma separada. Nessa última classe de questões – a descoberta, a criação, a invenção etc – a História das Ciências pode trazer relevantes *insights* para a análise epistemológica.

De uma derivação direta de ideias do Empirismo Clássico, Reichenbach irá propor que devem ser considerados o contexto de descoberta – que determina o que é inventado ou descoberto e de que forma isso se deu – e o contexto de justificação – que estabelece como uma teoria demonstra a sua “cientificidade”. Karl Popper (1902-1994) irá avaliar esses conceitos e, em oposição aberta ao Verificacionismo, vai sugerir um novo critério de demarcação científica, baseado no conceito de Falseabilidade: proposições científicas não precisariam ser verdadeiras, mas teriam que poder ser falseadas. Esta capacidade de uma teoria de ser testada ou refutada é o critério que demarcaria uma proposição como científica. Até que fosse falseada, toda teoria científica seria considerada uma hipótese válida: “Nossa crença em qualquer lei natural em particular não terá uma base mais segura do que a falha do nosso esforço crítico em refutá-la”.¹⁹

Com isso Popper abre novos caminhos para o contexto de criação/descoberta, visto não ser relevante a forma como uma teoria surge, mas a possibilidade de ser falseada. Ele propõe, em sua obra,²⁰ que se façam “ousadas conjecturas” a serem confrontadas por “rígidas refutações” que pudessem falsear as hipóteses propostas através de um *experimentum crucis* (experimento crucial). Richard Feynmann ao iniciar sua série de palestras da Física, escreveu no quadro negro o resumo do que seria a sua primeira palestra: “Ciência: nós não estamos preocupados em saber de onde uma nova ideia surge – o único teste de sua validade é o experimento”.²¹

A metafísica será resgatada no contexto de descoberta do Racionalismo Crítico de Popper, no qual será aceita como proposta plausíveis de ser considerada. Com a sua epistemologia Popper controla o excesso de liberdade nas propostas teóricas (o “anarquismo

¹⁸ REICHENBACH (1938).

¹⁹ POPPER (1972).

²⁰ Idem.

²¹ “*Science: we are not concerned with where a new idea comes from – the sole test of its validity is experiment*”. FEYNMANN (2008).

epistemológico” de Feyerabend²²) sem engessar a criatividade científica com a necessidade de verificação de todos os fatos.

É interessante observar o quanto a estética ganha espaço de atuação nesse momento em que se rompe com ideias engessadas acerca do processo de criação, por tanto tempo considerado fruto da observação e da indução. E não apenas no contexto de criação, mas também a mudança da validação das proposições científicas, com o conceito de falseamento, vai permitir que novas formas de criação se tornem justificáveis, estimulando uma proliferação de teorias. A Física Moderna provia Popper de inúmeros exemplos de teorias criadas a partir de especulações e experimentos mentais, que passaram pelo teste de falseamento em momentos e situações completamente diferentes de sua criação, muitas vezes décadas depois de propostas ou por cientistas interessados em desprová-las.

Dentre as alternativas de livre criação não baseadas estritamente em procedimentos de observação/experimentação, apresentaremos casos em que a criação científica que se dá dentro do contexto de descoberta. A validação dessas descobertas só foi feita muito tempo após a proposição das mesmas. Apenas no século XX os cientistas passaram lentamente a aceitar de forma usual a possibilidade de estudar hipóteses não imediatamente comprovadas por um experimento ou observação. A partir deste momento inúmeras teorias hipotéticas na Física encontraram condições favoráveis para se manifestar. Apontamos a seguir alguns exemplos que mostram o modo como teorias foram formuladas em contextos diversos.

O primeiro é a proposição de Michael Faraday (1791-1867), ao descrever a ideia de campo magnético usando as linhas de força entre dois polos. O conceito de campo não existia quando Faraday estava engajado em seus experimentos com a eletricidade. Nos primórdios da sua pesquisa, ele imagina uma perturbação em torno do éter que envolvia os objetos portadores de magnetismo. Essa hipótese se confirma através de uma imagem que se forma pela distribuição da limalha de ferro espalhada em uma folha plana de papel, colocado sobre um ímã.²³ Da mesma forma, a ideia de campo elétrico poderia ser igualmente imaginada, conforme ilustrado por Paul Dirac (1902-1984): “as linhas de força (...) uma forma de representar os campos elétricos”.²⁴ Em 1851 Faraday criou vários diagramas a partir das imagens formadas pelas limalhas de ferro, que mostram as linhas de força magnéticas.²⁵

Um segundo exemplo, a forma como Friedrich August Kekulé (1829-1896) descreveu a formação hexagonal do benzeno. Na sua época, os métodos físicos para a determinação

²² FEYERABEND (1989).

²³ **Veja imagem 03 no Anexo.**

²⁴ “*The Faraday lines of force are a way of picturing electric fields*”. DIRAC (1963), p. 51.

²⁵ The Royal Institution - <http://www.rigb.org>

estrutural das moléculas ainda não haviam sido desenvolvidos, portanto os químicos tinham que se valer das reações químicas para estudar certas formações moleculares. Kekulé descreve um “sonho acordado” que teve durante uma corrida de ônibus em Londres, no qual ele via como os átomos podiam se agrupar em padrões, flutuando no espaço. Já no fim da vida ele descreve a sua visão como: “uma cadeia de carbonos dançando na forma de um círculo fechado, como uma serpente mordendo o próprio rabo”.²⁶ Esse sonho o levou não apenas à proposição da estrutura cíclica do benzeno, mas também contribuiu para a fundamentação estrutural da Química Orgânica.²⁷

Por último, levantamos como exemplo a inspiração de Srinivasa Ramanujan (1889-1920)²⁸ para as suas muitas fórmulas e identidades da Matemática Pura.²⁹ Textos bibliográficos sobre ele descrevem seu método como “intuitivo e indutivo”. No entanto, ele afirmava diretamente que sua inspiração era de origem divina e que toda a matemática que ele escrevia era advinda da manifestação da deusa Namagiri, cultuada pela sua família. Além da sua contribuição substancial em vida com quase 4.000 fórmulas sobre análise matemática, teoria dos números, séries infinitas etc. Ele deixou vários cadernos de anotações matemáticas os quais até hoje são estudados. Em 1976 o seu último caderno dado como perdido foi encontrado, causando impacto na sociedade científica. A maior parte das fórmulas já foram provadas desde então, através de métodos que Ramanujan sequer imaginou que existissem em vida³⁰.

Cabe agora então às análises trazidas pela História da Ciência contribuir para o esclarecimento, mesmo que parcial, da intrigante questão da criação científica. O enfoque dessa tese baseia-se principalmente no caráter altamente variado e quase oposto das duas citadas vertentes: a criação a partir de livres hipóteses (uma possibilidade seriam as criações estéticas) e sua impossibilidade de verificação científica, mas podendo falsear uma proposição de cunho universal. Popper³¹ nos apresenta essa situação ao dar total liberdade ao contexto de criação e enfatizar a falsificação como processo de validação científica, incentivando assim a proliferação de um grande número de hipóteses teóricas que, de outra forma, seriam enxergadas sob o preconceito do não cientificismo ou da impossibilidade verificacionista imediata.

Ele baseia a sua lógica no *Modus Tollens*³², o “modo que nega” – silogismo que, através de um único caso de constatação negativa de uma proposição, invalida radicalmente a

²⁶ “he had imagined a chain of dancing carbon atoms forming a closed circle, like a snake eating its own tail”. **Veja imagem 04 no Anexo.**

²⁷ FARRAR, W.V. In: Kekulé. WILLIAMS (1994) e BROCK, W.H. In: DSB.

²⁸ HARDY (2000).

²⁹ **Veja imagem 05 no Anexo.**

³⁰ CHANDRASEKHAR (1987) e NUDDS, d. In: Ramanujan. WILLIAMS (1994).

³¹ POPPER (1972).

³² POPPER (1972b).

universalidade da mesma, trazendo uma diferente perspectiva ao assunto. Isso foi ainda mais evidenciado com o advento das teorias da Física Moderna e com a revalorização dos *Gedankenexperimenten* – experimentos mentais que contêm as condições ideais (reais ou imaginárias), não reproduzíveis à época de sua proposição, usados para exemplificar, criar, provar ou contestar uma hipótese.

Um exemplo do que a proposta popperiana apresenta é a criação da Teoria da Relatividade Geral (TRG) de Einstein, publicada em 1915, que postulava matematicamente o fator de curvatura do contínuo espaço-tempo causada pela presença de grandes massas gravitacionais, resultando na curvatura da luz próxima a esses objetos celestes. A TRG previu alguns fenômenos através de cálculo matemático que foram comprovados em 1919, alguns anos após a sua publicação, através da observação de um raro eclipse solar de longa duração na constelação de Touro³³. Duas equipes de cientistas ingleses, uma delas liderada por Sir Arthur Eddington (1882-1944), estavam em duas diferentes localidades de onde a visualização do fenômeno seria mais clara: uma na Ilha de São Tomé e Príncipe e outra na cidade de Sobral, no Ceará³⁴. Já a existência das ondas gravitacionais, outra hipótese postulada matematicamente por Einstein na mesma TRG, só foi detectada recentemente, mais de um século após a sua previsão, pelo LIGO – Laser Interferometer Gravitational-Wave Observatory, nos EUA.

Na Mecânica Quântica, um dos exemplos mais conhecidos é o “experimento” do gato de Schrödinger, cujo objetivo era o de refutar a teoria da natureza dual da matéria proposta pela MQ. Ou seja, esta seria formada por elementos que poderiam ser ao mesmo tempo uma onda e uma partícula, até serem observados, momento em que se mostrariam de uma forma ou de outra. Para demonstrar a impossibilidade dessa proposição, Erwin Schrödinger (1887-1961) propõe um experimento imaginativo em que um gato seria colocado dentro de uma caixa selada com um dispositivo que emitiria radioatividade capaz de matá-lo em algum momento. Schrödinger afirma que, até o instante da abertura da caixa com o fim de confirmar em que estado o gato seria encontrado, ele estaria morto e vivo ao mesmo tempo. O absurdo da possibilidade de dupla existência do gato seria comparável ao da natureza dual da matéria. Cabe ressaltar que os cálculos matemáticos referentes a esse experimento, ao contrário do que Schrödinger desejava, acabaram por confirmar a existência dos estados sobrepostos da matéria.

Outro exemplo no qual se empregam personagens e mecanismos imaginários para se explicar uma teoria são as concepções de *daemon* em Pierre-Simon Laplace (1749-1827) e James Clerk Maxwell (1831-1879). A figura imaginária é usada para explicar, respectivamente,

³³ Veja imagem 06 no Anexo.

³⁴ Veja imagem 07 no Anexo.

a filosofia do Determinismo Mecanicista³⁵ e a Segunda Lei da Termodinâmica³⁶. O *daemon* é um ser que tudo compreende através da sua aguçada capacidade de observação e medição e é capaz de controlar todas as partículas constituintes do universo – imaginado num mesmo molde da concepção jesuítica dos *putti*³⁷, pequenos anjos que auxiliam os filósofos naturais nas suas pesquisas sobre a natureza. Em Laplace³⁸, o *daemon* representa a capacidade de previsão determinística: ao medir com absoluta precisão a posição e velocidade de cada partícula, todos os acontecimentos passados e futuros são desvelados. Em Maxwell³⁹, ao contrário de Laplace, o *daemon* é capaz de controlar e modificar a velocidade e direção das moléculas: desta forma, sendo capaz de controlar e inverter o fenômeno da entropia e a seta do tempo.

A História da Ciência também relata diversos casos em que a argumentação estética foi empregada no processo de formulação e desenvolvimento de teorias científicas. Ela provê elementos a serem usados como critérios determinantes do curso a ser tomado pelos cientistas através de uma contemplação diferenciada da questão.

Essa dimensão Estética se dá principalmente com o suporte da geometria e da matemática como evidências da Verdade. Para Kepler, “a Geometria possui dois grandes tesouros; um é o Teorema de Pitágoras; o outro, a divisão de uma linha em média e extrema razão” (divisão esta que é o mecanismo de formação da linha espiralada que representa a razão áurea). O primeiro, diz ele, “podemos comparar à sua medida em ouro; o segundo podemos nomear uma joia preciosa”.⁴⁰

Em *O Ensaiador*, Galileo Galilei (1564-1642) aborda a questão do estudo científico da natureza, sugerindo que o universo seja compreendido através da matemática e não da discussão filosófica escolástica, então em uso:

A filosofia está escrita neste grande livro, o universo, que permanece sempre aberto para o nosso olhar. Mas o livro não pode ser entendido a menos que se aprenda a compreender a linguagem e se possa ler as letras no qual foi composto. Ele está escrito na linguagem da matemática, e seus caracteres são triângulos, círculos, e outras figuras geométricas sem as quais é humanamente impossível compreender uma única palavra dele; sem elas se vagueia por um labirinto escuro.⁴¹

³⁵ LAPLACE (2010).

³⁶ LEFF e REX (1990).

³⁷ HEILBRON In: SHEA (2000). **Veja imagem 08 no Anexo.**

³⁸ **Veja imagem 09 no Anexo.**

³⁹ **Veja imagem 10 no Anexo.**

⁴⁰ “Geometry has two great treasures; one is the Theorem of Pythagoras; the other, the division of a line into extreme and mean ratio. The first we may compare to a measure of gold; the second we may name a precious jewel”. KEPLER, Johannes. *Mysterium Cosmographicum de Admirabile Proportione Orbium Celestium*, 1596.

⁴¹ “Philosophy is written in this grand book, the universe, which stands continually open to our gaze. But the book cannot be understood unless one first learns to comprehend the language and read the letters in which it is composed. It is written in the

Igualmente impressionante é o poder do legado newtoniano que, além de sua validade perene, tem sido explicado por diferentes filósofos e cientistas ora como exemplo de teoria indutivamente construída (a explicação dada por Ernst Mach), ora como ilustração da teoria racional – derivada exclusivamente da aplicação da razão aos fenômenos, sem a necessidade de qualquer observação ou experimentação – e até mesmo *a priori* (como foi a explicação dada por Kant).

A Beleza da Matemática ganha peso com as novas proposições espaciais na Física com o contínuo espaço-tempo da Teoria da Relatividade Restrita - TRR e no espaço curvo da Teoria da relatividade Geral - TRG de Einstein, e o espaço subatômico da Mecânica Quântica. O método matemático através do qual essas teorias foram criadas e desenvolvidas até que pudessem ser comprovadas através de observação e experimentos é, para Dirac, a maior beleza de todas: trata-se do método epistemológico *per se*.

Não podemos deixar de abordar a importância do desenvolvimento da notação científica. Como exemplo disso citamos a transposição dos princípios newtonianos para a linguagem do cálculo de Gottfried Leibniz (1707-1783), através do trabalho de Leonhard Euler (1707-1783). Dois diferentes exemplos podem ser citados em Maxwell: um, o de descrever o legado de Faraday em linguagem matemática a partir do cálculo vetorial. O outro, a visualização das transformações pelas quais o seu conjunto de equações do Eletromagnetismo passou: primeiro com a síntese das equações até serem reduzidas a quatro⁴², feitas pelos seus seguidores (os chamados “maxwellianos”); e outra, as mudanças de notação nessas quatro equações a partir da proposição de novas formas de simetria na matemática⁴³.

Em alguns casos, a notação adquire tamanho vulto que acaba por se tornar, sem que tivesse esse objetivo, em uma nova linguagem. É o caso dos Diagramas de Feynmann⁴⁴, um grupo de representações gráficas que Richard Feynmann criou para facilitar o seu trabalho diante da enorme quantidade e complexidade das interações e reações produzidas entre fótons e elétrons na Mecânica Quântica. Ele afirma que criou essa linguagem como um recurso de estudo para uso próprio.⁴⁵ No entanto, seu uso por alunos e colegas acabou por produzir uma metodologia que resultou em um novo ramo da matemática, chamada “dos operadores ordenados”.

language of mathematics, and its characters are triangles, circles, and other geometric figures without which it is humanly impossible to understand a single word of it; without these, one wanders about in a dark labyrinth”. GALILEI apud DRAKE (1957), p. 237-8.

⁴² **Veja imagem 11, 12 e 13 no Anexo.**

⁴³ GELL-MANN. In: http://www.ted.com/talks/murray_gell_mann_on_beauty_and_truth_in_physics

⁴⁴ FEYNMANN (1988). **Veja imagem 14 no Anexo.**

⁴⁵ KRAUSS (2012).

A partir desses estudos sobre o processo de construção do conhecimento científico, fizemos um resumo organizado, que mostraremos a seguir, sobre o cunho estético introduzido em etapas diversas da construção epistemológica. Aqui expomos uma espécie de “classificação generalizada” das manifestações sobre o Belo na Ciência.

Nela definimos cinco abordagens do modo como a Beleza pode se inserir no contexto de produção da ciência:

NA CRIAÇÃO

- Quando uma proposta contém uma visão nova e original, seja através de uma teoria, da observação de um fenômeno ou de uma proposição de natureza imaginária.

A Equação de Dirac, que propõe a existência da anti-matéria, concebida e desenvolvida pela imaginação matemática.

NO FENÔMENO

- Percebe-se através dos sentidos, na natureza, no objeto de forma direta ou virtual, em modelagens gráficas
- Organização do Universo.

Eclipses, flocos de neve etc.

Quando simulada através de recursos gráficos, podemos citar a Superfície Costa⁴⁶ (um objeto matemático de superfície mínima, proposto por Celso José da Costa (1949-) em 1982 e simulada em 3D em 1984 na Universidade de Massachussets)

Umberto Eco resume bem esse sentimento de Beleza no conhecimento na seguinte passagem: “Hoje em dia, refinadas técnicas eletrônicas permitem que mergulhemos em busca de aspectos formais inesperados nas profundezas da matéria, assim como se podia outrora admirar ao microscópio a Beleza dos cristais de neve.”⁴⁷

Alexander von Humboldt (1769-1859) define o conceito ao explicar o título de sua obra mais influente, *Cosmos – projeto de uma descrição física de mundo*: “do grego Kósmos, que

⁴⁶ Veja imagem 15 no Anexo.

⁴⁷ ECO (2004), p. 409.

significava ‘beleza’, ‘ordem’ e que também tinha sido aplicada ao universo como um sistema ordenado, organizado”.⁴⁸

NA ESTRUTURA

- Observa-se na visão do todo que uma teoria propõe.
- Na agregação de conhecimento à matriz de teorias científicas.
- A compreensão geral de uma dada disciplina

Como aponta Maxwell: “Faraday é, e deverá sempre permanecer, o pai desta ampla ciência do eletromagnetismo, que une, em uma única visão, todos os fenômenos que pesquisadores anteriores estudaram em separado, além daqueles os quais Faraday descobriu ele mesmo seguindo as suas convicções, que ele havia obtido, sobre a unidade da ciência como um todo”.⁴⁹

A Teoria da Evolução em Charles Darwin (1809-1882) e Alfred Wallace (1823-1913).

NO MÉTODO

- Quando um método pode ser usado para resolver problemas similares.
- Quando um método é simples e mais fácil de ser empregado.
- Que empregamos para desenvolver, confirmar ou falsear uma hipótese, no experimento laboratorial ou na manipulação de números.

“A navalha de Ockham”, termo cunhado em 1852 por Sir William Hamilton (1788-1856), atribuído a William de Ockham (1285-1347) e tem origem na argumentação estética da simplicidade sobre as ações da Natureza. O princípio mostra a inutilidade de se buscar atingir um objetivo com uso de mais elementos ou etapas quando o mesmo pode ser feito de forma mais econômica.

A Beleza da matemática como método de criação em Paul Dirac (1902-1984) um método que, na sua opinião, ainda não era completamente bem-sucedido, mas que se tornaria

⁴⁸ HUMBOLDT apud WULF (2016), p. 337.

⁴⁹ “Faraday is, and must always remain, the father of that enlarged science of eletro-magnetism which takes in that one view, all the phenomena which former inquirers had studied separately, besides those which Faraday himself discovered by following the guidance of those convictions, which he had already obtained, of the unity of the whole science”. MAXWELL (1965), p. 358.

uma ferramenta poderosa para os campos da matemática e da física na busca pelas teorias da unificação.

NO RESULTADO

- Um belo resultado tem uma forma elegante. (p. ex: as diversas formas de demonstrar o Teorema de Pitágoras – já passam de 360 provas);
- na visualização final de um experimento, teoria etc (p. ex: proposições dos modelos atômicos, imagens geradas por equações relacionadas à Teoria do Caos).

Já a partir dessa visão de como o Belo se relaciona com a construção do conhecimento científico, o próximo passo é o de examinar o conceito de Beleza *per se*.

2 A Beleza

faz parte de uma herança cultural do ser humano. Ela se destaca diante da nossa necessidade de entender e ordenar o mundo e se reflete no nosso comportamento. É usada como referencial por filósofos e artistas e agrega elementos teóricos e formais. O estudo sobre a Beleza enquanto um saber formal, a Estética, aponta os contornos que definem o Belo de acordo com os movimentos histórico-culturais da humanidade. Ao estudarmos a Beleza, elencamos os conceitos empregados na árdua tarefa de defini-la e compreendê-la.

A Estética enquanto estudo sobre o Belo é uma concepção moderna, que só apareceu, adquirindo este termo, com Alexander Baumgarten (1714-62), que dá a essa pesquisa uma autonomia de saber diferenciado. Na sua gênese, é um conhecimento que se refere de forma mais genérica à percepção, ao julgamento e à contemplação sensorial de qualquer objeto, a começar pela escolha do termo grego *aisthesis*⁵⁰ – percepção, sensação, sensibilidade. Sendo até então considerada uma parte da Filosofia que tratava da “teoria da sensibilidade”, historicamente ela esteve mais relacionada à Ética, à Literatura, à Poesia, ao Teatro e à Arte enquanto artesanato. Apenas mais recentemente à História da Arte.⁵¹

Neste capítulo será feita uma brevíssima consideração sobre a História da Estética tendo em vista apresentar um conjunto de parâmetros⁵² que descrevem a Beleza e que irão dialogar com a Física, como iremos estabelecer neste trabalho.

As primeiras proposições teóricas para o estudo do Belo de que temos registro no Ocidente são as dos filósofos gregos. Entre aquelas consideradas mais importantes e cuja influência ainda se reflete na contemporaneidade estão as pertencentes à filosofia de Pitágoras, Platão, Aristóteles e Plotino.

Em Pitágoras (570-495 a.C.), o Belo está espalhado universalmente no cosmos; é ferramenta para educar a alma moralmente. Ele pode ser observado em plenitude no Plano Superior, e percebido claramente por nós nas vivências prazerosas perceptíveis através da visão e da audição. Por vivermos num mundo ordenadamente limitado e compreensível, onde “o princípio de todas as coisas é o número”⁵³, essas experiências estão intrinsecamente vinculadas

⁵⁰ BAYER (1961).

⁵¹ A História da Arte só surgiu oficialmente no século XVI, com a publicação do primeiro livro dedicado ao tema, um compêndio de biografias, impresso no Brasil com o título *A vida dos Artistas*.

⁵² Para facilitar a visualização do conjunto, os parâmetros serão destacados em sublinhado ao longo do capítulo.

⁵³ PITÁGORAS apud ECO (2004), p. 61.

às proporções matemáticas, contidas em tudo⁵⁴, exemplificadas através das razões matemáticas de proporções, das escalas harmônicas musicais, das cores no espectro da luz e de outras correlações de módulos espaciais e numéricos da proporção áurea⁵⁵, que serão largamente empregadas na Arquitetura e nas Artes. Sua escola vai unir a Cosmologia, a Ciência Natural e a Estética com a Matemática.

Nessa cultura, em que a Beleza é expressa através de números e proporções harmônicas, a descoberta dos números irracionais causa uma “onda de horror”. A harmonia consistia, para Pitágoras, na presença de opostos, mas apenas um deles representaria a verdade e o falso deveria ser destruído. Esses estranhos números, de dígitos infinitos e intangíveis, portanto, tidos como “não belos”, ameaçavam a estrutura filosófica já estabelecida na Matemática. Sem poderem ser destruídos, eram ocultados e sua divulgação, punida com a morte.

Seu contemporâneo Heráclito (535-475 a.C.) já havia considerado existirem opostos no universo que não conviveriam entre si. Segundo ele, a anulação do oposto não deveria ser almejada para que se alcançasse uma harmonia absoluta. Esta seria obtida através da conciliação, que maneja a tensão gerada constantemente entre esses elementos. Assim, na obra dos pitagóricos posteriores que incorporaram essas ideias, “a harmonia não é ausência, mas equilíbrio de contrastes”.⁵⁶

No período Clássico que se segue, em Atenas, inicia-se uma fase pitagórica áurea na Arquitetura, Pintura e Escultura gregas, formando uma ideia mais clara dos ideais estéticos, com a proposição dos primeiros kanons artísticos, rigidamente baseados nas medidas e proporções matemáticas, empregados na representação escultural dos corpos humanos, na construção de edificações, nos elementos decorativos etc.

Enquanto na Arquitetura e nas Artes o Belo está sendo regido formalmente através dos padrões sagrados da Matemática, do ponto de vista filosófico o conceito de Beleza está passando por outros questionamentos. Aquele cuja visão e influência será praticamente dominante até o século XVIII, Platão (428-347 a.C.), postulava que o Belo no Plano Ideal é absoluto, eterno, a perfeição, o Bem e a Verdade. É uma beleza esplendorosa, que possui uma existência independente de materialidade. Essa Beleza não corresponde aos objetos que vemos

⁵⁴ “(...) A teoria dos números de Pitágoras se baseava em três observações. A primeira eram as relações matemáticas com as harmonias musicais (...). Em segundo lugar, Pitágoras observou que qualquer triângulo formado por três segmentos com a razão 3:4:5 é sempre um triângulo retângulo. (...) A terceira relação importante decorreu das relações fixas dos corpos celestes: na medida em que essas mesmas harmonias musicais e formas geométricas podem ser produzidas em diferentes meios e tamanhos pela mesma composição de números, os próprios números devem expressar harmonias e formas e até mesmo as coisas que têm essas harmonias e formas. (...)” VON FRITZ, K. Pitágoras In: *DSB*.

⁵⁵ Proporção Áurea (Secção Áurea) – sistema de harmonia visual que se obtém quando uma linha ou área é dividida em secções, de modo que a relação de proporção é sempre de 1:1,6180 (arredondado) – chamado número Φ (fi). **Veja imagem 16 no Anexo.**

⁵⁶ ECO (2004), p. 63.

no Plano Material; estes não passariam de meras cópias dos objetos perfeitos do Plano Ideal, que só é dado ver por aqueles que superam o olhar sensível pelo intelectual. Platão deseja o exílio da produção dessas imitações (*mimesis*) das escolas e sugere que seja substituída pelo estudo da beleza das formas geométricas, que possuem em si proporção e harmonia em uma concepção matemática do universo.⁵⁷ Para ensinar ao homem o caminho para atingir a perfeição, o Belo que deve ser almejado é a união harmônica da perfeição, do amor e do saber justo. Assim nasce a *kalokagathia*⁵⁸ – a união harmônica da beleza das formas do corpo físico e da virtude do espírito – que, para Platão, é a maior beleza das proporções possível. A Verdade (*aletheia*) é o que está evidente⁵⁹. O Belo é o Verdadeiro em todos os sentidos: no material e no espiritual.

Em oposição à Beleza idealizada, como pensada por Platão, Aristóteles (384-322 a.C.) propõe um conceito de Belo concreto que, para sua melhor percepção, não deve ser nem muito grande, nem tão pequeno que atrapalhe a sua compreensão. Além disso, ele determina elementos da Beleza que unem a finalidade existente no Bem e na Matemática, ao nosso espírito inquieto em busca da causalidade: essa união é necessária para que seja dada unidade ao espírito. Esses elementos são: a simetria (a medida que pode submeter dois objetos a uma mesma unidade ou à capacidade de serem sobrepostos); a taxis (a Beleza é a razão, a conformidade para com as leis) e a ordenação (vista sobre o aspecto da determinação, da enunciação da essência e características de um objeto, sua definição qualitativa).

Aristóteles valorizava a virtude como fundamental para o bem-viver, ele estabelece uma distinção entre a Beleza e o Bem: a primeira como algo que pode estar presente também nas formas inanimadas e que assim corresponderia ao Belo como Forma, o segundo como uma ação que representaria um Belo Moral. Ainda que conceda casos em que o Bom possa ser também chamado de Belo, há um rompimento com a *kalokagathia*. Ele também difere claramente a Beleza do Adequado, pois a Arte não tem de objetivar a utilidade, mas o prazer imediato: o Belo não tem uma finalidade. Certamente sua visão da Arte como imitação no conceito platônico é bem mais condescendente, posto que contém conhecimento e descoberta, e é ferramenta de evolução espiritual do artista.

Na passagem para a Idade Média, temos com Plotino (204-270), uma filosofia baseada em três princípios – o Uno, o Intelecto e a Alma –, que na Estética se aplicam ao papel dos estágios de existência da Beleza. O primeiro, a razão criativa, corresponde à Beleza Absoluta

⁵⁷ Veja imagem 17 no Anexo.

⁵⁸ BAYER (1961).

⁵⁹ idem.

e, portanto, considerada ‘mais que bela’; o segundo é o da razão humana, relativo à existência da Beleza como a maior de todas e o terceiro é a alma cuja imperfeição está na sua relação material com o corpo humano. E há, ainda, a beleza comum dos objetos reais, que nada mais são do que *mimesis* da Beleza Absoluta. Plotino dá grande destaque à beleza das cores, que sobrepujam de luz e calor a escuridão. Esse conceito será de grande influência na estética pictórica medieval. O que o diferencia grandemente de Platão é a sua visão de que a beleza artística pode criar objetos mais belos que os naturais quando os artistas estão providos de ideais como modelos para suas criações, tornando-se algo além de uma mera cópia imperfeita do Belo ideal, bem como de uma mera tentativa de representação de um objeto real: trata-se de uma obra com aspirações ao Belo ideal e verdadeiro. A Feiura é compreendida por algo que não participa de uma ideia: “Porque tudo o que naturalmente está destinado a receber uma ideia e uma forma, se fica privado dela e não participa de sua ideia exemplar, é feio e fica fora do plano divino; nisso consiste a feiura absoluta”.⁶⁰

O ideário do início da Idade Média continua baseado na filosofia de Plotino, de influência platônica, mesclada de termos teológicos às suas explicações, como feito por São Boaventura que discursa sobre o talento dado por Deus aos artesãos para que estes pudessem revelar Sua existência à humanidade. Essa filosofia será dominante por séculos, quando, no século XIII, seu mais famoso expoente, São Tomás de Aquino (1225-1274), traz novamente, os ideais puros de Beleza e Verdade de Aristóteles, agora sob a luz da teologia. Na Estética, a volta desses ideais espirituais se reflete numa transformação radical na representação artística. A Arte é virtude: “belo é a mesma coisa que o bom: ele não se difere a não ser racionalmente”.⁶¹ Na Arte deste período, a representação do ser humano perde a sua importância⁶², deixa de ser representado com o uso rigoroso de cânones e proporções matemáticas.

As coisas ditas “feias” estão constantemente retratadas: porque também compõem o mundo pelo contraste, são necessárias para a composição harmônica das imagens. Nesse contexto, o Mal é belo na ordem das coisas e as suas representações (como gárgulas, demônios, imagens animais dos pecados humanos, monstros etc) são fundamentalmente todas dignas porque frente a elas são ressaltados o Belo e o Bem e, portanto, brilha com maior esplendor a Verdade.

O ressurgimento das formulações Aristotélicas neste período, no entanto, não se sobrepõe completamente ao universo matemático pitagórico-platônico dos séculos anteriores.

⁶⁰ PLOTINO, apud DUARTE, 2013, p. 50.

⁶¹ Idem, p. 64.

⁶² Para S. Tomás, “a beleza do corpo é uma beleza maldita”. BAYER, (1979, p. 94.

Essa Estética se opõe diretamente à ideia de um Belo útil, mas mantém a relevância dos temas religiosos. Na passagem do século XIII para o XIV, tratados sobre a Arte começam a surgir juntamente com a redescoberta da Filosofia e da Arte Grega Clássica, na qual as formas geométricas servem de base para as formas representadas, retomando princípios e cânones que haviam sido deixados de lado.

A temática religiosa preponderou na cultura no medievo e no final dessa época já coexistia, por força da Reforma e da Contra-Reforma, com diferentes concepções de mundo – as discussões científicas e as explicações teológicas sobre a natureza; a cultura de outros povos, árabes, muçulmanos etc., decrescendo enquanto o Renascimento coloca o homem no cerne da história, com “a busca da realização das potencialidades da pessoa, (...) revelando para si mesmo sua verdadeira identidade”.⁶³

Com razão, Wölflin distingue “dois renascimentos italianos: o *Quattrocento* e o século XVI”⁶⁴. A fermentação e sede de conhecimento e os desenvolvimentos, técnicos e científicos, coloca Florença no centro dos acontecimentos do *Quattrocento*, quando os artistas abandonam os teólogos à procura dos mestres. Uma das primeiras conquistas dessa nova expressão artística é fazer do homem a medida das coisas. A visão do artista e sua preocupação com o homem singular busca o Belo como representação do sensível na natureza, até no grotesco.⁶⁵ É a reprodução do mundo com verossimilhança, seguindo um conceito estético de perfeição, como fidelidade à Natureza, imagem e realidade, mediante o qual volta a dominar a razão áurea, as composições da natureza e dos seres vivos – o corpo e figura humana – e a perspectiva⁶⁶ revolucionaria a forma de pensar e produzir as obras de arte.

Teórico do classicismo, Leon Battista Alberti (1440-1472) desenvolve uma Estética que vai exercer grande influência sobre os gênios da época – Rafael, Michelângelo, Ticiano, Leonardo – até o século XVI. A ordem, os números perfeitos e a razão (*ratio*) predominam. Os elementos vitais, manifestos, arabescos e qualidades singulares estão contidos entre a ordenação (*collocatio*) e os cânones (*numerus*). Seu conceito de Beleza fundamental é uma harmonia (*concinntas*), uma convivência racionalizada aplicada de forma a obter os efeitos desejados e de tal maneira “que nada se poderá acrescentar, diminuir ou mudar sem grandemente prejudicar a obra”⁶⁷

⁶³ OSTROWER (1988), p. 35.

⁶⁴ WOLFLIN apud BAYER (1979).

⁶⁵ **Veja imagem 18 no Anexo.**

⁶⁶ A técnica de representação dos objetos em perspectiva é creditada como a contribuição científica mais importante de Filippo Brunelleschi (1377-1446), arquiteto e engenheiro italiano também responsável pela construção da cúpula da catedral de Florença. GILLE, Bertrand. In: *DSB* e KEMP (1989). **Veja imagem 19 no Anexo.**

⁶⁷ ALBERTI apud BAYER (1979), p. 105.

Não podemos esquecer que a imprensa de tipo móvel de Gutenberg, que surge por volta de 1439, torna-se grande impulsionadora e difusora dessas novas ideias. Em 1509, um livro sobre a proporção áurea e o misticismo, que se encontra na relação do número *phi* Φ ⁶⁸ e a natureza e os sólidos platônicos, torna-se referência entre os intelectuais e artistas: *Da Divina Proportione*, de Luca Pacioli. Ele incluiu em seu livro as formas e os corpos geométricos até então conhecidos. Mais importante é que estes foram representados visualmente pela primeira vez e as 60 ilustrações tridimensionais desafiadoras inclusas nessa publicação, executadas por Leonardo Da Vinci (1452-1519)⁶⁹. Euclides já havia demonstrado como esses sólidos poderiam ser construídos geometricamente, mas as imagens de Leonardo foram as primeiras a proporcionar a visualização tridimensional das representações matemáticas.

Para Da Vinci a arte é inseparável da ciência e ele propõe uma contemplação estética que se reflete na liberdade do artista em acrescentar à natureza a sua imaginação, ainda que construída através de um racionalismo, em que a obra reserva lugar para o sensível e o sensual. Da Vinci é a encarnação do espírito do *uomo universale*, da pesquisa renascentista da natureza e do homem, e o conjunto de sua obra é a referência maior do uso da secção áurea e da representação paradigmática da perspectiva na sua época.

Deve-se salientar que a valorização das razões e proporções na Renascença em comparação com a Idade Média traz à luz a verificação de uma dessemelhança entre o ideal teórico, a natureza e a representação artística, o que provoca uma mudança nos padrões de ilustração. Daqui começam a surgir ideais de proporção bastante distintos de autor para autor, que partem da observação de que essa proporção, enquanto regra rigorosa, número fixo, não existe na natureza. Não há mais um único cânone a ser seguido. O uso das regras de proporção permanece; no entanto, varia de acordo com cada artista⁷⁰: “a escolha de um determinado padrão proporcional foi muitas vezes condicionada pelo contexto cultural em que vivia o artista, dependendo da finalidade a que se destinava a obra”.⁷¹

É a partir desta nova compreensão que o final do Renascimento e o início do Barroco ficará marcado pelo surgimento paulatino de uma nova representação do mundo físico, que vai muito além da proporção matematicamente equilibrada e rígida. A própria compreensão do universo sofre uma ruptura em relação ao modelo de esferas concêntricas, com uma desafiadora ideia de um sistema heliocêntrico, um universo infinito e plural. Ideias pelas quais o astrônomo Nicolau Copérnico (1473-1543) e o filósofo Frei Giordano Bruno (1548-1600) serão

⁶⁸ 1,618303398874989484820458683...

⁶⁹ Veja imagem 20 no Anexo.

⁷⁰ Veja imagem 21 no Anexo.

⁷¹ OSTROWER (1998), p. 221.

perseguidos pela Igreja. A busca pelo conhecimento define um novo conceito de Belo e Feio, ligado à natureza, aos curiosos objetos e exemplares trazidos pelos viajantes aos gabinetes de pesquisa científica. A questão não está em definir esses objetos pela sua Beleza ou Feiura, partindo dos conceitos estéticos da perfeição da forma. A Beleza está na descoberta e na reflexão sobre os mecanismos da natureza que se encontram nesses exemplares; está também no fascínio pelo objeto de estudo⁷².

O século XVII inicia um processo de rompimento da busca do Belo não mais como uma forma que expressa a natureza e o homem (na Renascença), ou meio de sensibilização (no Barroco), mas através da arte pela arte, introduzindo aos poucos novas questões sobre a Estética. Esse século será marcado principalmente pelo Classicismo Francês, fase de racionalismo dominante em que o Belo se encontra na esfera superior do entendimento e da razão. A Beleza se define pela representação mais pura da Verdade, pois só a Verdade é bela. A Estética é regida por hierarquias e organização disciplinada, clara e distinta, normatizadas pela ditadura das academias de Artes.

Vejamos a seguir, e brevemente, as ideias estéticas de alguns nomes de referência a partir do século XVI. René Descartes (1596-1650), matemático e filósofo, que tem a base de suas ideias explicadas no *Discurso do Método*, é o primeiro teórico a ser reconhecido pelos estetas e vê a Razão como instrumento para que a imitação da Verdade na Arte sirva como agente moralizador desta. As “verdades matemáticas e físicas se impõem a nós. Tal como na Estética Racionalista o feio é o extraordinário (...). Um objeto é tanto mais belo quanto menos diferentes uns dos outros são seus elementos e quanto mais proporção há entre eles”.⁷³

O pintor Nicolas Poussin (1594-1665) não deixou um escrito sobre a Estética, mas sua correspondência deixa um legado sobre a Estética relacionado diretamente às Artes Plásticas e à Literatura, em que a Verdade racional possui dois sentidos: “por um lado, a obra de arte está de acordo com as leis da razão; por outro lado a verdade é acima de tudo a natureza que a concepção racional modifica, embeleza, escolhe (...)”.⁷⁴ A fidelidade à natureza deve ser sacrificada pelo ideal de ser representada da forma mais nobre possível, orientada pela razão. Isso é o Belo. A fruição dos sentidos fica em segundo plano; é o deleite resultante da elucidação intelectual promovida pela própria obra a finalidade da Arte.

Denis Diderot (1713-84), na ocasião em que escreveu sobre a Estética na *Encyclopédie*, define a beleza pela “conformidade da imaginação com a coisa”, ou seja, a escolha consciente

⁷² Veja imagem 22 no Anexo.

⁷³ BAYER (1979), p. 135.

⁷⁴ Idem, p. 141-2. Veja imagem 23 no Anexo.

do artista em selecionar o que, da natureza, deveria ser reproduzido na obra de arte, em conformidade com o bem e o útil, com a finalidade de aprimorar os sentidos estéticos e morais da sociedade, “tornar a virtude amável, o vício odioso, o ridículo evidente, eis o projeto de todo ‘honnête homme’ que tome a pena, o pincel ou o cinzel”.⁷⁵

Para Gottfried Leibniz (1646-1716), a Beleza pertence à ordem, que desperta a liberdade, que é o amor e a perfeição; e esses quatro elementos estão interligados. Por isso, o funcionamento do Universo em Leibniz possui uma Estética em que as formas se tornam aquilo que o seu objetivo dinâmico maior determina que sejam: profundamente harmônico.

A revolta contra esse racionalismo vai trazer, já na passagem do século XVII para o XVIII, uma nova ordem de prioridades liderada pela preocupação com a elegância e o encanto, a importância do gosto refinado em segundo lugar e, por último, a Verdade. A ideia defendida por Roger de Piles (1635-1709), esteta e patrono de diversos amadores de arte influentes do século a seguir, era a de que a Beleza comportava uma verdade simples, superior à verdade pomposa, trazendo à tona o lirismo que havia sido podado pelo racionalismo anterior.

O século XVIII trará a oportunidade de que a questão sobre a natureza da Beleza seja realmente investigada como objeto filosófico independente – a Beleza é pensada por si, como um ideal norteador – e o foco da experiência estética recairá sobre o indivíduo. Nesse momento, tem-se em vista compreender o gosto pelo Belo, a relação do sujeito com o objeto de arte e, em contrapartida, como é constituído o que se considera belo nessa relação. A vivência coletiva e o nascimento dos museus, das salas de concerto e das galerias vai desempenhar um papel fundamental no estabelecimento dessa nova fruição estética. A capacidade dos seres humanos de usufruir da experiência da Beleza está compreendida no conceito do “gosto”, que estará na discussão central no século XVIII envolvendo a Estética.

Enquanto a preocupação maior durante o século XVIII se concentra na definição do Gosto e do Sublime, o século XIX será marcado pelas questões relacionadas à definição de Arte. Segundo Herwitz,

O século XVIII repensa a experiência estética como experiência sensual, em vez de como experiência que fornece conhecimento, e dignifica essa visão com a definição categórica. Pela primeira vez na filosofia, é dado um lugar para que a questão abstrata ‘O que é a beleza?’ seja desenvolvida. Além disso, no século XVIII, o foco sobre a experiência estética incide sobre a experiência individual (...). Esse século também começa a libertar a experiência individual do cerceamento da religião e do controle monárquico. No domínio da

⁷⁵ DIDEROT apud BAYER (1979), p. 165.

estética filosófica, isso consiste em libertar a beleza do ônus do conhecimento com a ciência (...).⁷⁶

O autor complementa: “Um biólogo pode estudar uma rosa; a visão que o biólogo terá da rosa, supõe-se, será diferente daquela que terá uma pessoa que se maravilha diante de sua beleza”.⁷⁷

Contrapondo-se diretamente à Estética da Proporção como modelo, Edmund Burke (1729-97)⁷⁸ separa totalmente o conceito de Beleza da proporcionalidade, pois tanto o que é considerado belo como o feio podem estar submetidos às mesmas regras de representação e proporção. Portanto, a perfeição não é a causa da Beleza. O Belo é uma qualidade dos objetos, dos corpos, capaz de despertar emoção, amor. Ele ressalta a delicadeza, a graça, a variação gradual, a elegância como características da Beleza. Mas essa emoção despertada pela Beleza se opõe àquela do Sublime, que é tudo “aquilo que produz a mais forte emoção que o espírito é capaz de sentir”⁷⁹, e isso ocorre de uma forma análoga ao que o terror é capaz de provocar enquanto intensidade dessa sensibilidade. O Belo é suave e o Sublime é intenso.

Pela visão de David Hume (1711-76) encontraremos a necessidade de responder, para entender a Beleza, o que é o gosto e como ele forma um padrão individual. Segundo Hume, trata-se de “uma combinação de talentos naturais e artificiais, talentos inatos do refinamento perceptivo e talentos cultivados por meio do exercício (...).”⁸⁰ O padrão do gosto seria uma forma de conciliação entre os tantos diferentes sentimentos que o homem possui, existente em nossa prática pessoal, com a qual estamos comprometidos. E esse padrão se estabelece pela repetição de atos, ou seja, por uma confirmação formada pela constância das nossas escolhas, critérios e juízos. Essa confirmação do gosto pela repetição é a que se estabelece com o especialista, aquele que terá o poder de decisão sobre a definição do gosto. Para identificar um verdadeiro juízo de gosto, Hume aponta cinco critérios:

Apenas a percepção vivaz [ser tocado pelas qualidades da arte], unida ao sentimento delicado [ser capaz de perceber a sutileza dos objetos], melhorado pela prática [exercício constante], aperfeiçoado pela comparação [não é possível ser juiz de si mesmo. Há que ter um objeto de comparação] e livre de todo o preconceito [quando o preconceito existe, o juízo perde o valor], pode autorizar os críticos a esse atributo

⁷⁶ HERWITZ (2010), p. 1.

⁷⁷ HERWITZ (2010), p. 39.

⁷⁸ ECO (2004) e BAYER (1979).

⁷⁹ BURKE apud ECO (2004), p. 290.

⁸⁰ Op. cit., p. 44.

valioso; e o veredicto comum de tais sujeitos, onde quer que eles devam ser encontrados, é o verdadeiro padrão do gosto e da beleza.⁸¹

Na segunda metade do século, os sentidos terão papel fundamental para a formação do conhecimento: este se tornará impossível de ser construído sem a sensibilidade. O Belo se definirá pelo conhecimento formado pelas coisas que despertam os sentidos e sua relação afetiva.

Johann Georg Sulzer (1720-79) distingue os objetos belos por serem agradáveis à imaginação e ao intelecto à primeira vista. No seu entendimento, o que é agradável deve ser imediato; no caso, as sensações e os sentimentos, que são belos. E o pensamento intelectual é unido ao mundo sensível através da organização que a imaginação faz com essas emoções, o que é ainda mais belo, pois recebe a intervenção da inteligência humana. Quanto mais ordenado, compreensível e claro é o objeto intelectual, mais rico o sentimento estético: as fórmulas e equações algébricas. “O sumo da Beleza é, portanto, a teoria matemática, e não há qualquer diferença entre o domínio do conhecimento e o domínio estético”.⁸²

Alexander Baumgarten (1714-62) é o primeiro a destacar a “Ciência do Belo” dos outros ramos da filosofia, à qual dá o nome de Estética. Ele busca encontrar nos domínios da Estética leis que correspondam às da Lógica e assim define a Estética como “a irmã mais nova da Lógica”⁸³, uma ciência do conhecimento sensível, que em sua perfeição é o Belo. O objetivo maior da Estética é estabelecer uma definição de Beleza, a partir de três aspectos. Primeiro, a Beleza é formada por partes múltiplas, espíritos destituídos de ordens e sinais, e que são redutíveis a um objeto que é palpável e sensível. Esse processo se dá por uma operação do intelecto que produz um resultado concreto. Em segundo, ela é um arranjo de uma ordem interna pela qual pensamos as coisas belas; porém, devem ser sentidas e não racionalizadas. E o terceiro aspecto é o arranjo interno dos sinais em acordo com as coisas e os pensamentos, e a sua expressão conforme sua distribuição entre si. Em resumo, segundo Herwitz, “A cognição da beleza é de particulares sensíveis, sejam ou não eles personificações de ideias. Ela é em e por si mesma, tem valor por si mesma, sensível e completamente envolvente”.⁸⁴

A Beleza tem uma característica sintética e de juízo, conceito que levará às ideias de Immanuel Kant (1724-1804), que encontrará as bases de sua discussão sobre a Estética em Hume (sobre o Gosto) e Burke (sobre o Sublime). Segundo Bayer, em Kant

⁸¹ HUME apud HERWITZ (2010), p. 51. (Os grifos e observações entre colchetes são nossos).

⁸² BAYER (1979), p. 183.

⁸³ BAUMGARTEN apud BURKE (1979), p. 180.

⁸⁴ HERWITZ (2010), p. 30.

O entendimento é a faculdade de assentar regras e de reconhecer por conceitos. O juízo é a faculdade de decidir se alguma coisa entra ou não numa regra dada; é a faculdade de concluir a partir das regras. (...) O juízo determinante consiste em situar um objeto para a regra. É neste último juízo que entra o juízo reflexivo estético ou juízo de gosto.⁸⁵

O juízo de gosto é, portanto, estético. Está ligado à imaginação e à determinação do sentimento de prazer. Não é critério de julgamento do conhecimento, não é lógico, não tem um objetivo, possui uma natureza diferente de outros prazeres, é desinteressado da posse material, é causado por um sentimento, uma afetividade e “*não pode ser senão subjetivo*”⁸⁶. Kant difere o Belo do Sublime, que também surge de um juízo de gosto; porém, difere do Belo na sua existência: o Belo está ligado à uma forma e, portanto, é limitado, enquanto o Sublime por não estar ligado a nenhuma materialidade é infinito, incondicional. Não existe um “objeto” sublime, mas uma “percepção” do sublime.

A Estética inglesa do século XVIII se define através de duas escolas principais: a Analítica, que emprega a análise psicológica – que tem seguidores em Burke, entre outros – e a chamada Intuicionista, que apoia suas concepções no princípio de um Belo Objetivo, da qual Shaftesbury (1671-1713)⁸⁷ é representante. É ele que define o papel do “virtuoso”: o *connoisseur* das artes, para quem converge tudo o que é perfeito e belo. O virtuoso é guiado pelo *moral sense*, expressão que Shaftesbury define como:

O sentimento que temos da bondade da beleza moral das ações é completamente distinto da vantagem que delas nos vêm. O bem, como o belo, é desinteressado, e isola-se do útil. Inato, o sentido moral é também inalterável. Não se pode mudar a direção dele. Partilha com o sentido estético o privilégio de não ser desviado, seja qual for o prejuízo privado ou a vantagem privada que recebamos da ação.⁸⁸

Desse moralismo surge uma “estética aristocrática”, em que o virtuoso, que possui a competência do gosto, tem o dever de educar e guiar o público e exaltar o trabalho do artista.

Enquanto isso, o Esteticismo (Movimento Estético), movimento intelectual e artístico do início do século XIX, dava ênfase aos valores estéticos de uma obra de arte, em detrimento de conteúdos utilitários, didáticos, sociais ou políticos. O mais importante era a busca pela

⁸⁵ BAYER (1979), p. 198. (grifo nosso).

⁸⁶ KANT apud DUARTE (2013), p. 119.

⁸⁷ Anthony Ashley-Cooper, Earl of Shaftesbury.

⁸⁸ BAYER (1979), p. 218-9.

Beleza, que está ligada ao sentimento do prazer. Seu lema era “A Arte pela Arte” (*L’Art pour L’Art*), e entre os seus expoentes se encontrava o escritor e poeta Oscar Wilde.

O caminho que segue a Estética no século XIX começa trazendo novas teorias, descobertas científicas, quebras de paradigmas, que vão gerar sobre a Estética questionamentos sob novos pontos de vista. Herbert Spencer (1820-1903) tenta analisar o Belo através de um todo psicológico do indivíduo e sua relação com os sentimentos de prazer e de dor. Charles Darwin (1809-1882) analisa a importância estética aplicada ao instinto animal, na busca seletiva durante o processo de evolução das espécies: o valor estético projetado sobre recursos naturais, os quais estão tidos como correspondentes ao senso de Beleza. E nisso encontra-se uma questão significativa: a Beleza é, em última análise, cultural e natural.

Georg Friedrich Hegel (1770-1831) se destaca pela influência na fundamentação da *Naturphilosophie*, que pretende compreender a natureza através da sua totalidade, interligando todos os saberes numa concepção holística das ciências naturais. O Belo, no entanto, está excluído da natureza porque, segundo ele, “o belo da Arte é a beleza nascida do espírito”⁸⁹, ou seja, uma criação humana com uma finalidade contida em si. A obra de arte e, por consequência, a Beleza nela contida, são produtos do “espírito” humano, que é também a suprema manifestação de Deus, através do homem. Embora inspirada por Deus, a Arte é construída para agradar os sentidos humanos e não é fruto da natureza, que é criação divina. Assim sendo, a Estética, que “está a meio caminho da sensibilidade imediata e do pensamento puro”⁹⁰, descreve uma Beleza que está entre o divino e o humano.

Friedrich Nietzsche (1844-1900) concebe um Deus que é puramente artista, criador de um universo onde existência e mundo são justificados como idealizações estéticas. A Arte se relaciona com a Beleza e a vida através da invenção, do ato de criação. O Belo intensifica a vida, é o que une Arte, Moral e Ciência através do objeto artístico. A espécie humana tem como finalidade alcançar a potência criadora, exultante de vida, capaz de revelar aquilo que há de mais superior em nós.

Na passagem para o século XX, George Santayana (1863-1952) faz uma crítica severa ao termo “Estética” como sendo um conceito destituído de firmeza, relacionado a intelectualidade acadêmica que o emprega para se referir a qualquer coisa adotada como obra de arte ou relacionada ao sentimento de Beleza. O Belo deve ser um valor em si, positivo, independente e que corresponde a um ideal estético que se resume à perfeita adequação da obra à sua função. O ideal da vida deve ser atingido buscando-se esse valor do Belo, que também se

⁸⁹ BAYER (1979), p. 307.

⁹⁰ Idem, p. 309.

aplica a outros aspectos da atividade humana e não apenas à obra de arte: atinge-se o Belo diante dos valores morais.

E eis que o século XX será marcado fundamentalmente pela conjunção de duas questões: a da definição do Belo e a de Arte. Ao se convergirem, acabam por produzir uma profusão de correntes artísticas e estéticas, muitas vezes derrubando os conceitos até então considerados canônicos.

Arthur Danto (1924-2013) separa o Bom do Belo na medida em que se derruba a Beleza como parâmetro para a definição da qualidade artística de uma obra. A Beleza na Arte é definível, independentemente de qualquer dimensão estética.

O feio não se torna belo só porque a arte feia é boa. (...) Uma obra de arte feminista não visa a garantir a nossa admiração, mas sim a incitar uma mudança na maneira como as mulheres são consideradas e tratadas na nossa sociedade. Se ela tem esse efeito, se ela faz os espectadores perceberem injustiças onde antes eles não viam nada ou eram indiferentes ao que viam, ela é artisticamente excelente.⁹¹

Da mesma forma, outras obras específicas podem ser palatáveis e belas, mas sem que isso as transforme em Arte. O que as define como Arte é a teoria, ideologia, intenção na qual se sustentam ou a maneira pela qual são interpretadas pelo chamado “mundo da arte”.

A Estética enquanto disciplina não interessa mais à Arte; essa é a marca que o século XX deixa impressa. Após transitar por tantas definições da Beleza, o que realmente apreendemos sobre esse conceito ao estudar a Estética de forma tão abrangente é que o artista, não mais prisioneiro de uma escola, estilo ou filosofia, terá a total liberdade de manifestar qualquer tipo de Beleza que deseja em sua obra (seja ela uma pintura, cerâmica, filme, instalação etc). Para isso faz uso de elementos de um conjunto de definições internas, próprias do artista, uma “matriz estética” individual formada pela construção de sua experiência pessoal com a Beleza.

Essa matriz, formada pela sua vivência cultural e pessoal, vai extrair elementos de um universo de conceitos sobre a Beleza, os quais acabamos de ressaltar ao longo desse capítulo. Apresentamos a seguir os elementos que consideramos mais relevantes de estarem presentes na matriz geral do Belo:

⁹¹ DANTO (2015), p. 124.

BEM

- Eleva moralmente o espírito humano;
- Desperta sentimentos nobres;
- Representa a Natureza pela razão;

COERÊNCIA

- Relação entre os elementos, ideia e representação;
- Proporção coerente entre o todo e as partes que o forma;
- A complexidade encerra em si a simplicidade através da coerência mantida no todo, condensando e jamais reduzindo;

CONHECIMENTO

- Se insere na descoberta dos mecanismos da Natureza;
- Agrada à imaginação e ao intelecto;

ELEGÂNCIA

- Harmonia entre formas, volumes, cores e contrastes;
- Completude: nada a retirar ou acrescentar;
- Representa a delicadeza e a graça;

EQUILÍBRIO

- Disposição balanceada dos elementos formais da obra (ligada à razão áurea, simetria, perspectiva e finalidade);
- Objetiva integrar as tensões causadas pelos elementos formais (cor, ritmo etc);
- Harmonia entre contrastes;

FINALIDADE

- Valoração da obra segundo sua utilidade para um fim social, político, econômico;
- Justifica a obra;
- Adequa a obra a uma função social;

GOSTO

- De acordo com a experiência pessoal ou estipulada por agentes (patrono, críticos etc);

ORDEM

- Hierarquia dos elementos;
- Ordenações significativas dentro do conjunto da obra;

PROPORÇÃO

- Relação de forma entre os objetos em si e na obra como um todo;
- Razão entre os elementos que compõem o objeto;
- Noção de perspectiva na ambientação da imagem;

SENSIBILIDADE

- Desperta emoções do ser humano;
- Representa o plano sensível;
- Relaciona-se com o prazer;

SIMETRIA

- A “simetria verdadeira” é rígida e especular (reflexiva).
- É a disposição dos elementos da obra em reflexão a partir de um eixo imaginário.
- É percepção da obra de forma harmônica, através da análise da disposição dos seus elementos formais, distribuídas em categorias de proximidade (similaridade, volume, ordenação, cor, proporção, espaço etc).
- Capacidade de sobreposição dos objetos.

SÍNTESE

- Simplicidade como síntese resultante de um processo de transformação.

VERDADE

- Relação entre o que está representado e sua contraparte no mundo real e no ideal;
- Correspondência com valores éticos;
- Beleza absoluta;

Uma vez definida essa matriz estética, nossa pesquisa prossegue em busca da formação de uma segunda matriz a ser confrontada: aquela formada por elementos empregados na construção do conhecimento na Física.

3

A Física e a Beleza

constroem um diálogo peculiar, tendo na Matemática uma linguagem comum, desenvolvendo elementos próprios. Físicos também podem exercer o papel de estetas e, na sua pesquisa, deixar a Beleza guiar os seus passos na construção de um quadro teórico-científico, auxiliados por elementos instrumentais estéticos particulares.

Voltemos por alguns instantes à Grécia Antiga, em suas investigações acerca da *Physis*, termo grego que se refere à totalidade dos fenômenos da natureza, estendendo-se muito além da disciplina que hoje chamamos Física. Quando a matemática pitagórica (“o mundo é número”) se uniu aos poucos a outros conceitos como o Belo platônico (“o Belo é verdadeiro, justo e bom”), a geometria euclidiana e a teoria sobre o universo aristotélico-ptolomaico (baseado nos sólidos de Platão – esfera, tetraedro, hexaedro, icosaedro e dodecaedro), juntos criou-se uma visão cosmológica em que as órbitas dos corpos celestes em torno da Terra eram circulares. O círculo era considerado, dentre todas as formas, a mais esteticamente perfeita, conceito com o qual a arte também está de acordo quando trata dos aspectos formais de perfeição estética.

A história dessa construção cosmológica, baseada em conceitos estéticos, geométricos e matemáticos como no *Quadrivium*⁹² grego – o conjunto de quatro disciplinas matemáticas: Aritmética, Geometria, Música e Cosmologia, cujo conhecimento era uma das exigências para estudo na Academia –, é, talvez, a primeira visão sobre o Universo a influenciar as civilizações ocidentais com uma ideia de mundo baseada em diversos elementos de Beleza, impondo um conceito estético sobre esse Universo. E era tão perfeita, tão bela, que dominou o modelo astronômico por quase dois mil anos, até que com o heliocentrismo de Copérnico (1473-1543), embora ainda propondo trajetórias homocêntricas dos planetas, inicia-se a lenta derrubada do mito do geocentrismo.

Copérnico abriu caminho para as ideias de Johannes Kepler (1571-1630), com um sistema heliocêntrico unificado e fisicamente fundamentado,⁹³ e Isaac Newton (1642-1727), o principal criador da mecânica e física clássicas⁹⁴. Ambos romperam com o modelo cosmológico

⁹² MARTINEAU (2014).

⁹³ GINGERICH, O. In: *DSB* (2007). **Veja imagem 24 no Anexo.**

⁹⁴ COHEN, I. Bernard. In: *DSB* (2007).

aristotélico-ptolomaico de órbitas circulares. A nova ordem proposta por esses astrônomos também seguia uma visão estética de formas harmônicas; porém, não mais dentro do círculo perfeito, mas com uso de elipses e parábolas, que são formas retiradas de projeções do círculo no cone.

Para Kepler “os movimentos celestes nada mais são do que um canto contínuo de vozes (imperceptíveis pelo ouvido, mas perceptíveis pela inteligência)”.⁹⁵ Na sua forma de estudar o Universo, Kepler recorreu aos conceitos estéticos de perfeição e harmonia, em conjunção com os dados empíricos coletados por Tycho Brahe (1546-1601), astrônomo dinamarquês agraciado pelo rei Frederico II da Dinamarca com uma ilha em Hven, onde construiu seu observatório com avançados instrumentos astronômicos e começou a coletar dados diários das posições estelares no céu. A herança deixada por Brahe a Kepler (com a promessa de completar e publicar as tábulas Rudolfinas) foram os dados coletados por mais de 20 anos, essenciais para que Kepler pudesse fundamentar as suas descobertas.⁹⁶

Com o cruzamento desses dados e as suas teorias, Kepler explica o movimento dos planetas: a certeza da perfeição do universo e das relações matemáticas que fundamentavam as harmonias da escala musical, já apresentadas por Pitágoras, servia de guia na sua busca para entender o funcionamento das órbitas planetárias, produzindo uma “música celestial”⁹⁷. Hoje já existem simulações artísticas do que seria essa sinfonia das estrelas, e é possível ouvir os sons produzidos pelos planetas a partir da conversão das suas emissões eletromagnéticas captadas pelas sondas enviadas ao espaço. Mas naquela época Kepler acreditava fielmente na existência desses sons por uma correlação numérica existente entre o deslocamento dos planetas nas órbitas e a vibração das cordas musicais. Esses tons de hoje não correspondem aos que Kepler imaginava, mas não deixa de ser interessante o fato de que tivesse certeza sobre a capacidade de os planetas emitirem sons.

Galileu Galilei, entre suas inumeráveis contribuições ao nascimento da ciência clássica moderna, tem como uma de suas principais características a utilização e união de dados empírico-observacionais com argumentos lógico-matemáticos. De certa forma, podemos dizer que Galileu complementa na cinemática dos movimentos terrestres⁹⁸, aquilo que Kepler havia conseguido na descrição do sistema planetário, ou cinemática dos corpos celestes. Ambos partem de pressupostos platônicos, que os levam à utilização das cônicas – elipses em Kepler e

⁹⁵ KEPLER *apud* MOURÃO (2008).

⁹⁶ HELLMAN, C. Doris. In: *DSB* (2007).

⁹⁷ **Veja imagem 25 no Anexo.**

⁹⁸ através do estudo do comportamento dos corpos em queda; a independência e composição dos movimentos e da trajetória de projéteis.

parábolas em Galileu (a soma vetorial do movimento retilíneo uniforme e a aceleração dos corpos em queda, em proporção ao quadrado do tempo, é descrita por uma parábola) – após terem confrontado seus pressupostos *a priori* com os dados observacionais (levantados pelo próprio Galileu e, no caso de Kepler, por Tycho Brahe).

Isaac Newton unificou as até então separadas “Física Celeste” (assim exemplificada pela cinemática celeste de Kepler⁹⁹) e “Física Terrestre” (tal como descrita pelos estudos galileanos¹⁰⁰). Ambas as sínteses são geometrizadas através de trajetórias cônicas keplerianas e galileanas e formam a base sobre a qual Newton vai edificar suas teorias¹⁰¹. Podemos dizer que as duas sínteses newtonianas, que são suas três leis de movimento e a Lei da Gravitação Universal, constituem a primeira Teoria de Grande Unificação a surgir na Física.

Essa teoria, por possuir a característica de universalidade e unificação, elementos que, como veremos adiante, compõem o conceito de Beleza na Física Moderna, é considerada pelos físicos de extrema beleza. A busca por uma Teoria de Unificação Geral na Física Moderna contém essas mesmas características e até hoje tenta-se encontrar uma Grande Teoria a ser expressa por equações de Beleza ímpar. A Beleza abstrata, que se encontra na harmonia do funcionamento do universo, corresponde perfeitamente ao sentimento da Beleza abstrata clássica da representação harmonicamente proporcional dos corpos humanos na Arte. E ambas estão profundamente interligadas à mesma proporção matemática que Pitágoras já havia proposto para a escala musical, que se aplica à razão áurea (*phi*); encontrada, por exemplo, nos fractais na natureza.

Esses estudos da Filosofia Natural mantiveram uma forte conexão com o conceito de Beleza, assumindo diversos formatos – a busca por unificações, as relações matemáticas, o equilíbrio dos sistemas etc –, e expressando-se de diferentes maneiras – nas leis, equações, teoremas, experimentos, resultados, método etc. A esse respeito, o filósofo Francis Hutcheson (1694-1746) diz:

A harmonia e as leis musicais dos sons revelar-nos-iam a mesma lei se ela não fosse ainda mais sensível na beleza mais abstrata de todas: a beleza dos teoremas. A simplicidade aliada à riqueza e à variedade das conseqüências, eis toda a beleza matemática: é a pregnância e a fecundidade das verdades. Este prazer que acompanha as ciências ou os teoremas universais pode com razão ser chamado uma espécie de sensação, pois é inseparável da descoberta de qualquer proposição e distinto do conhecimento simples. Ora, como nos objetos, há sempre

⁹⁹ Veja imagem 26 no Anexo.

¹⁰⁰ Veja imagem 27 no Anexo.

¹⁰¹ Veja imagem 28 no Anexo.

uma sensação agradável que só é produzida quando a uniformidade se encontra ligada à variedade.¹⁰²

Na virada do século XVIII para o XIX, a Beleza foi paulatinamente perdendo influência na formação do conhecimento, em função das investigações empíricas que dominaram o cenário da metodologia epistemológica. O afastamento que já vigorava entre os Filósofos Naturais no século XVIII acaba por sedimentar uma tendência de separação entre a Física Geral (basicamente a Mecânica Analítica ou Racional) e as Físicas Particulares (estudos dos fenômenos da Eletricidade, Magnetismo, Ótica, Acústica, Calor etc, que eram apresentados nos “teatros da ciência”).¹⁰³

Ocorreu um projeto de unificação mecanicista que pretendia reduzir todos os fenômenos às explicações de cunho mecânico, conhecido por alguns autores (como Robert Fox) como Programa Laplaciano. A Epistemologia então segue dois rumos distintos: o do Empirismo, Positivismo e Indutivismo; e o outro no aprimoramento das análises teórico-matemáticas. Faz-se necessário entender melhor as novas metodologias que irão surgir dentro dessa segunda ramificação epistemológica para compreendermos como as considerações de ordem estética recuperam o seu valor e consolidam sua presença entre os físicos modernos.

Para os físicos teóricos, isso também está presente em seu trabalho, embora talvez de uma forma diferente da que estamos habituados. Segundo Anthony Zee,

nós gostamos de pensar que nós também procuramos pela beleza. Algumas equações da Física são tão feias que nós mal conseguimos olhar para elas, que dirá escrevê-las. Certamente o Grande Designer teria usado apenas belas equações para construir o universo! Proclamamos. Quando nos apresentam duas equações alternativas objetivando descrever a Natureza, nós sempre escolhemos aquela que nos fala ao senso estético.¹⁰⁴

Como se evidenciará, a Física vai se desenvolver de forma muito acelerada em apenas um século. Além de aprofundar as ramificações da Física Clássica (mecânica, ótica etc), irão aparecer novas especialidades, como a Termodinâmica e o Eletromagnetismo. Surgirão, posteriormente, em um corte mais radical, duas novas Físicas, operando em diferentes espaços: a Relatividade de Einstein, que se ocupará do Universo e seus objetos e corpos celestes dentro

¹⁰² BAYER (1979), p. 222.

¹⁰³ A denominação Física Geral x Físicas Particulares é predominantemente empregada na França. No mundo britânico, uma separação similar ocorreu com as denominações correspondentes Filosofia Natural x Matemática Mista.

¹⁰⁴ “(...) *we like to think that we too search for beauty. Some physics equations are so ugly that we cannot bear to look at them, let alone write them down. Certainly, the Ultimate Designer would use only beautiful equations in designing the universe! we proclaim. When presented with two alternative equations purporting to describe Nature, we always choose the one that appeals to our aesthetic sense.*” ZEE (2007), p. 3.

de um espaço quadridimensional e de geometria curva, e a Mecânica Quântica, que terá seu olhar voltado para as interações das partículas que habitam o espaço subatômico. Esse conjunto de proposições da Física marca o início da chamada “Física Moderna”, e será construída por meio de variadas formulações epistemológicas: observações e experimentações empíricas, especulações *ad hoc*, construtos do pensamento, proposições puramente baseadas em cálculos matemáticos, modelos construídos no espaço das tecnologias virtuais etc.

É importante ressaltar que o experimento não é abandonado, principalmente no âmbito do falseamento das hipóteses. Ainda que o resultado obtido não seja o desejado, ele sempre irá apontar para alguma coisa acerca da teoria inicial.

A cronologia¹⁰⁵ foi compilada com o objetivo de sinalizar para as diversas formas de construção do conhecimento científico que emergem simultaneamente a partir do século XIX e que consolidarão essas novas descobertas da Física. Ao estudá-la, é preciso ter em mente que todos esses recursos epistemológicos agem simultaneamente: as teorias já não estão sendo mais construídas apenas por um único método ou experimento. Cada vez mais a imaginação se libera das amarras da necessidade verificacionista a fim de propor livremente novas ideias para a Física, que serão construídas e/ou falseadas por um ou vários desses métodos, desmistificando igualmente o “momento heureka”.¹⁰⁶

Em seu discurso de recebimento do prêmio Nobel em 1922, Niels Bohr (1885-1962) ressalta a importância do pensamento abstrato, que ao longo da História tem sido o recurso de maior auxílio para desvendar os mistérios do Universo. Ele cita, em especial, Planck e Einstein, que mostraram através de suas “investigações abstratas” que as leis regentes do movimento das partículas e suas propriedades são de uma natureza totalmente diferente daquela a que estávamos até então acostumados a observar nos fenômenos da natureza.¹⁰⁷

Anos mais tarde, Dirac expressa sobre Einstein um parecer que também endossa a ideia abordada por Bohr:

Quando Einstein estava trabalhando em sua teoria da gravitação ele não estava tentando dar conta de resultados de observações. (...) Seu procedimento completo era buscar por uma teoria bela, uma teoria do tipo que a Natureza escolheria. É claro que é preciso ser um verdadeiro gênio para ser capaz de imaginar como a Natureza deveria se parecer, apenas partindo do pensamento abstrato a esse respeito. Einstein era capaz disso.¹⁰⁸

¹⁰⁵ Vide Apêndice.

¹⁰⁶ Forma transliterada do original grego *heúrēka*, (“eu encontrei”) onde o “h” está presente de igual forma como no radical da palavra “heurística”.

¹⁰⁷ BOHR (1923).

¹⁰⁸ DIRAC (1980).

A Beleza tem, para alguns cientistas, grande importância no processo heurístico de uma nova teoria. Isso vem sendo demonstrado por alguns físicos modernos de grande vulto. Para o nosso trabalho foram escolhidos os físicos Paul Dirac, Richard Feynman e Murray Gell-Mann como “porta-vozes” da Beleza, sua importância na prática científica em seu ressurgimento moderno. Destacamos, a seguir, algumas de suas opiniões que servem de exemplo.

Paul Adrien Maurice Dirac (1902-1984)

Físico teórico inglês, ganhador do Nobel de 1933 com Erwin Schrödinger, é mais conhecido por suas importantes e elegantes contribuições para a formulação da mecânica quântica. As apresentações atuais da mecânica quântica são, em larga medida, dependentes de sua obra prima *The Principles of Quantum Mechanics*, de 1930, e grande parte da estrutura teórica básica da moderna física de partículas tem origem em suas primeiras tentativas de combinar os *quanta* com a relatividade. Na famosa equação que leva o seu nome, Dirac confirma o *spin* do elétron e propõe a existência de uma antimatéria, revolucionando para sempre os estudos na área quântica.

A maneira como hoje se faz física teórica sofreu influência não apenas dos resultados obtidos por Dirac, mas também de seus métodos, que ampliam ou aperfeiçoam o formalismo matemático antes de buscarem a interpretação sistemática.¹⁰⁹

Segundo Dirac, a Beleza é o processo: “o método deve iniciar pela escolha do ramo da matemática que se deseja que seja a base da nova teoria. Deve-se deixar influenciar muito nesta escolha por considerações de beleza matemática”.¹¹⁰

Ao falar da transformação do olhar do físico para a Natureza¹¹¹, Dirac mostra que, dentro de cada nova visão acerca do espaço que nos foi dada, a Simetria e a Matemática serviram de elo de ligação entre essas concepções. Partindo da visão do espaço tridimensional absoluto de Newton, Dirac segue relatando as mudanças na ideia de espaço por Einstein com a proposição do “contínuo quadridimensional espaço-tempo” e a interconexão entre essas duas grandezas. Em seguida, a Relatividade Geral formula a curvatura desse espaço, propondo uma nova Geometria para o universo. Por último, Dirac afirma a importância da Equação de

¹⁰⁹ DARRIGOL, O. In: *DSB* (2007).

¹¹⁰ “The research worker, in his efforts to express the fundamental laws of Nature in mathematical form, should strive mainly for mathematical beauty. He should still take simplicity into consideration in a subordinate way to beauty” (1939).

¹¹¹ DIRAC (1963).

Schrödinger¹¹², que demonstra o comportamento das partículas subatômicas em um novo espaço físico onde ocorrem as interações invisíveis entre estas: o espaço quântico.

Diante desse conjunto de transformações do espaço físico, ele diz que extrai uma lição: a de que é mais importante haver Beleza numa equação do que tê-la perfeitamente encaixada no experimento, visto que, se o cientista está trabalhando no sentido de busca da Beleza nas suas equações e ele tem uma visão coerente, então está certamente no caminho do progresso. A concordância com o experimento poderá surgir posteriormente com a evolução da pesquisa.

Richard Phillips Feynman (1918-1988)

Físico teórico estadunidense, ganhador do Nobel de Física em 1965 com Julian Schwinger (1918-1994) e Shin'ichiro Tomonaga (1906-1979), é considerado um dos mais criativos e influentes físicos do século XX. Fez contribuições importantes em diversos domínios: da Eletrodinâmica, da Teoria Quântica, da Física Nuclear e de Partículas, da Física do Estado Sólido e da Gravitação. Em sua carreira produziu 125 artigos científicos e livros, vários dos quais permanecem, ainda hoje, na fronteira da Física Moderna.¹¹³ Ganhou renome por sua contribuição para a QED – Eletrodinâmica Quântica¹¹⁴ e tornou-se uma famosa figura pública com sua participação decisiva no inquérito ao esclarecer a causa da explosão da espaçonave Challenger em 1986.

Do seu legado, não podemos deixar de abordar a criação de uma família de símbolos gráficos conhecidos como “diagramas de Feynmann”¹¹⁵. Estes símbolos representam de maneira mais simples as longas (e complicadas) expressões matemáticas que permitem calcular o resultado de processos físicos nas interações entre as partículas elementares do Modelo Padrão. Os diagramas de Feynman são muito engenhosos porque fornecem uma representação gráfica dos processos físicos sendo calculados. Os diagramas são frequentemente descritos pela Beleza de sua concisão matemática e pelas suas formas representativas *per se*.

Feynmann é famoso pela sua visão de mundo, obtendo frequentemente “uma nova e profunda compreensão do comportamento da natureza – com uma maneira refrescante e elegantemente simples de a descrever”.¹¹⁶ Para ele, a ciência possui uma Beleza inerente que é capaz de intensificar a experiência estética na relação com a Natureza e seus fenômenos:

¹¹² **Veja imagem 29 no Anexo.**

¹¹³ KAISER, D. In: *DSB* (2007).

¹¹⁴ FEYNMANN (1988).

¹¹⁵ **Veja imagem 14 no Anexo.**

¹¹⁶ LEIGHTON, Ralph. In: FEYNMANN (1988), p. 17.

Eu posso apreciar a beleza de uma flor. Ao mesmo tempo eu vejo muito mais sobre a flor do que ele [o seu amigo artista] vê. Eu posso imaginar as células ali dentro, as ações complicadas dentro dela que também têm beleza. Eu digo, não é apenas a beleza da sua dimensão de um centímetro, lá eu também vejo a beleza de uma dimensão menor, a estrutura interna (...). Será que este sentido estético também existe nas formas mais internas? Porque é estético? Todos os tipos de questões interessantes mostram que um conhecimento da Ciência soma excitação e mistério ao deslumbramento da flor.¹¹⁷

Feynmann mostra que a Beleza está presente numa equação quando, por exemplo, estabelece uma conexão da Álgebra com a Geometria, definindo como “joia” da Matemática uma fórmula de Euler que relaciona um número complexo (algébrico) com um número neperiano (geométrico). Ele diz que, em Física Teórica, “descobrimos que as leis podem ser escritas em uma forma matemática; e (...) existe uma simplicidade e beleza em relação a isso. (...) Para entender a natureza pode ser necessário ter um entendimento mais aprofundado das relações matemáticas”.¹¹⁸

***Murray Gell-Mann* (1929-)**

O estadunidense Murray Gell-Mann ganhou o Nobel de Física em 1969 pelo seu trabalho com a classificação e simetria das partículas elementares¹¹⁹. Introduziu a qualidade de “estranheza” aos números quânticos, uma característica que se manifesta entre as partículas nas interações eletromagnéticas e fortes, mas não nas interações fracas. Fez grandes contribuições para a compreensão da simetria dos hádrons e suas violações, levando a prever as partículas ômega. Com Hans Fritzsche (1900-1953) propõe a “cor” aos números quânticos, que levará aos estudos da QCD – Cromodinâmica Quântica. Na década de 60, com Kazuhiko Nishijima (1926-2009) propõe uma teoria de organização das subpartículas atômicas conhecido como “Caminho dos Oito Preceitos” e postula a existência dos quarks.

Seu conceito de Beleza é o de elegância, que se revela através de uma simplicidade na notação matemática, que permite transmitir ideias muito complexas de forma mais concisa. Com isso ele exemplifica uma série de transformações passadas pelas equações de Maxwell

¹¹⁷ “I can appreciate the beauty of a flower. At the same time I see much more about the flower than he [his artist friend] sees. I can imagine the cells in there, the complicated actions inside which also have a beauty. I mean it’s not just beauty at this dimension of one centimeter, there I see also beauty at a smaller dimension, the inner structure. (...) Does this aesthetic sense also exist in the lower forms? Why is it aesthetic? All kinds of interesting questions shows that a Science knowledge only adds to the excitement and mystery and the awe of a flower”. FEYNMANN (1999), p. 2.

¹¹⁸ GELL-MANN (2008), p. 22-10.

¹¹⁹ **Veja imagem 30 no Anexo.**

através dos tempos conforme novas proposições de simetria, análise vetorial e outras mudanças matemáticas foram sendo introduzidas.

Segundo Gell-Mann, essa simplicidade também se alcança na sequência de camadas de conhecimento matemático que vão sendo desveladas na evolução de uma pesquisa. Essas camadas são uma continuidade do conhecimento vindo da camada anterior, de forma que, no processo de desenvolvimento de uma teoria ou pesquisa, a camada posterior fica mais fácil de ser trabalhada por que contém em si uma parte de experiência já alcançada pela camada anterior. Essa evolução de pensamento, de transmissão de informação de uma para outra etapa do trabalho, é também uma descrição da Beleza do método.

Gell-Mann é o porta-voz de uma ideia de epistemologia em que a beleza deva ser critério de escolha no desenvolvimento de uma pesquisa ou de uma teoria:

Eis um exemplo da minha própria experiência. (...) Três ou quatro de nós [colegas], em 1957, formulou uma teoria parcialmente completa sobre uma dessas forças, a força fraca. E estava em desacordo com sete – sete, conte bem – experimentos. Os experimentos estavam errados. E nós publicamos antes de saber disso, porque nós pensamos que eram tão belos que tinham que estar certos! Os experimentos tinham que estar errados. E estavam.¹²⁰

O que significa perceber a Beleza em uma equação?

“Fundamentalmente significa que a equação pode evocar o mesmo êxtase que outras coisas que muitos de nós descrevem como belas”.¹²¹ Ou seja, a experiência da Beleza impacta de igual forma cientistas e artistas: emoções emergem da visualização de algo Belo, seja expresso através de uma obra de arte ou numa equação matemática.

Tanto a Arte como a Matemática possuem informações que representam padrões da realidade de uma forma codificada. Essas informações se referem a elementos que transmitem a ideia de Beleza e que captamos de forma consciente ou não, processando o objeto observado como belo. Isso foi mostrado em um estudo laboratorial onde foram medidas as alterações no córtex cerebral de pessoas não cientistas enquanto estimuladas com a apresentação de obras de

¹²⁰ “Here’s an example of my own experience. (...) Three or four of us [colleagues], in 1957, put forward a partially complete theory of one of these forces, this weak force. And it was in disagreement with seven – seven, count them, seven – experiments. Experiments were wrong. And we published before knowing that, because we figured out it was so beautiful, it’s gotta be right! The experiments had to be wrong, and they were”. GELL-MANN (2007).

¹²¹ “What does it mean to say that an equation is beautiful? Fundamentally, it means that the equation can evoke the same rapture as other things that many of us describe as beautiful”. FARMELO (2003), p. xiv.

arte e depois comparadas às medições feitas em cientistas ao visualizarem determinadas equações matemáticas.¹²² Estudos desse calibre apontam para a necessidade de um aprofundamento da questão da influência da Beleza nas Ciências Naturais, através de conceitos abstratos encontrados na Arte e na Matemática.

São consideradas Belas, na Física, aquelas equações e teorias que, representando fenômenos na natureza, conduzem para novas visões da realidade são possuidoras de propriedades que expressam o Belo que identificamos em conceitos (unificação, simplicidade etc) no capítulo 3. Alguns exemplos na Física que são considerados Belos são: as Leis de Newton, as Equações de Maxwell, várias equações da Mecânica Quântica – como as Equações de Dirac e Schrödinger –, as equações da Teoria da Relatividade Geral e Especial de Einstein. A esse respeito J. R. Oppenheimer (1904-1967) faz o seguinte depoimento:

Padrões de padrões – as composições, teorias e obras que são reunidos por artistas e físicos – constituem seu empenho mais importante. Eles criam um enquadramento e mapeamento ainda maior da realidade; eles dão suporte ao criar a ordem a partir da confusão, separando relevâncias de trivialidades; (...). Na Física, esses padrões de padrões são selecionados como válidos usando critérios tanto de estética quanto de correspondência.¹²³

Como vimos no capítulo 1, a Beleza é percebida de diversas formas. No capítulo 2, vimos que possui conceitos bem distintos. Iremos elencar, neste capítulo, as qualidades que as teorias e equações devem ter para causar o “êxtase da Beleza” citado acima. Serão com essas ferramentas que os Físicos irão construir suas representações da realidade, e foram extraídas dos depoimentos e exemplos coletados para ilustrar essa tese.

COERÊNCIA

- Consistência lógica da teoria como um todo e entre as suas partes.
- Compreensão dos processos de funcionamento da Natureza, de uma teoria.

Por exemplo, a Teoria Eletromagnética e suas equações formuladas por James C. Maxwell.

¹²² ZEKI (2014).

¹²³ “(...) *patterns of patterns – the compositions, theories, and works that are assembled by artists and physicists – constitute their most important endeavors. They create an ever-broader framework and mapping of reality; they reassure by creating order out of confusion, separating relevancies from trivialities; (...) In Physics, these patterns of patterns are selected as valid by using both aesthetic and correspondence criteria. Theories that are structurally simpler and that at the same time include more elements of the primary pattern are chosen. They appear more elegant*”. FEYNMANN (1979).

CONCISÃO

- Transformações matemáticas que permitem a modificação das notações de teoremas e equações de forma mais simples. Como exemplos citamos: as equações de Maxwell e suas variações a medida que foram descobertas novas simetrias e operações matemáticas; e os diagramas de Feynmann, criados como auxílio para compreensão da interação quântica entre elétrons e fótons.

DUALIDADE

- Equivalência de teorias ou modelos que aparentemente são muito distintos. A natureza dual da matéria, como onda e partícula, proposto inicialmente por Louis De Broglie (1892-1987) para os elétrons.

ELEGÂNCIA

- Combinação do maior número de conceitos com o menor número de elementos possíveis em uma dada teoria, equação ou prova. Se a estrutura de uma prova é elegante e concisa, a Matemática está criando um tipo de Beleza¹²⁴.

É famoso o comentário de Pierre de Fermat (1607-1665) – escrito em 1637 nas margens do livro *A aritmética de Diofanto* em que ele afirma ter encontrado “uma demonstração maravilhosa” para um dado problema, porém a margem do papel era insuficiente para descrevê-la (esse problema, conhecido como “Teorema de Fermat” foi solucionado apenas no final do século XX)¹²⁵.

ORDEM

- Ordenação estabelecida por um critério de organização. Este critério pode se traduzir por uma equação ou constante da Natureza, como os fractais (que também podem ser vistos pelo ponto de vista da Simetria).
- Padrão de cunho matemático, como a razão áurea.
- Sucessão de aplicações em camadas de operações cada vez mais complexas, a partir dos constantes aprimoramentos da Matemática.
- Baixa entropia de um sistema, como pode ser visto na ordenação dos elementos em um cristal.

¹²⁴ RUSSELL (2017).

¹²⁵ SINGH (1999).

SENTIDO DE UNIFICAÇÃO

- Capacidade de colocar sob as mesmas condições matemáticas diferentes fenômenos físicos. É a expressão máxima da Beleza na História da Física e ainda é almejada até os dias atuais.

SIMETRIA

- Na Geometria são transformações de uma figura sobre um plano. Na matemática é descrita como forma de deslocamento de uma figura.
- Na Física é a capacidade de alteração da ordem dos elementos em uma equação ou teoria sem que o resultado final sofra modificação. Em um sistema físico, a energia final do sistema permanece a mesma.
- Relaciona-se ao conceito de invariância.

SÍNTESE

- Qualidade de ser facilmente entendida ou explicada, de possuir clareza. É o contrário de complicado (e não de complexo), e pode estar presente no enunciado ou na prova. A Teoria da Evolução darwiniana, a TRR de Einstein são bons exemplos. Mohammad Abdus Salam (1926-1996) define o conceito ao dizer que “desde os tempos imemoriais, o homem desejou compreender a complexidade da Natureza através do menor número de conceitos elementares possíveis”.¹²⁶

VERDADE

- Estar em coerência com a Natureza, como vemos nas equações de Galileu, Newton, Kepler, para citar alguns exemplos.
“Se a Natureza nos leva a formas matemáticas de grande simplicidade e beleza (por formas refiro-me a sistemas coerentes de hipóteses, axiomas, etc), a formas que ninguém encontrou antes, é impossível não pensarmos que elas são ‘verdadeiras’, que revelam um aspecto autêntico da Natureza”.¹²⁷
- Chegar a uma conformidade final com os experimentos ou provas. Bertrand Russel afirma que ao se chegar a uma prova matemática, essa verdade produzida é bela¹²⁸.

¹²⁶ “From time immemorial, man has desired to comprehend the complexity of Nature in terms of as few elementary concepts as possible”. SALAM, Abdus. *Ideals and Realities: Essays of Abdus Salam*. p. 49-50. New Jersey: World Scientific, 1989.

¹²⁷ HEISENBERG (2011), p. 84.

¹²⁸ RUSSELL (2017).

Essa Beleza tão almejada também se revela na busca (até hoje!) de provas para o Teorema de Pitágoras (que já passam de 360).

- Paradigma teórico. Einstein diz que a Mecânica Quântica possui um “belo elemento de verdade” e que ela será a pedra de toque para outras bases teóricas, que seriam deduzidas a partir dela.¹²⁹

UNIVERSALIDADE

- Reduz ao mínimo o conjunto de parâmetros de uma teoria.
- Propõe uma mesma intensidade de interação entre partículas de um sistema.

Tendo finalizado a pesquisa dos elementos da Física, agora nosso trabalho seguirá buscando a síntese final de tudo que foi levantado até o presente momento.

¹²⁹ EINSTEIN (1936), p. 378.

4 Um diálogo

seria possível dentre esse conjunto de elementos sobre o Belo que tem origem em saberes tão distintos? Podemos demonstrar a capacidade da Física de dialogar com a Arte através de uma linguagem e de um fio narrativo comum entre ambos os saberes? Propomos um espaço de intersecção, onde artistas e cientistas possam desenvolver uma melhor compreensão do olhar do outro sobre o Belo e uma contribuição à possível construção de uma Epistemologia Estética.

Apresentando Arte à Ciência:

“Como vai?” “Muito prazer”.

Essa tese vai de encontro ao conceito usual de que a Beleza na Arte e na Ciência são dois conceitos distintos que não se comunicam. Exemplos desse ponto-de-vista se encontram entre artistas, filósofos e cientistas. Henri Poincaré é um cientista que defende essa ideia:

“O cientista não estuda a Natureza porque é útil; ele estuda porque tem prazer nisso, e ele tem prazer nisso porque é belo. Se a Natureza não fosse bela, não valeria ser estudada e a vida não valeria ser vivida. É claro que eu não me refiro àquela Beleza que atinge os sentidos, a Beleza das qualidades e das aparências; não que eu desvalorize essa Beleza, longe disso, mas não tem nada a ver com a ciência, (...) a Beleza intelectual é suficiente per se e assim o é para o seu bem, mais ainda talvez para o futuro bem da humanidade (...)”¹³⁰

No entanto queremos reforçar a vertente de opiniões que unem Arte e Ciência, ainda mais através do conceito de Beleza. Se os conceitos de Belo são distintos, não significa que não sejam análogos e, nesse sentido, o diálogo é possível, tendo o sentimento estético como linguagem compartilhada. A Beleza, muito ao contrário da opinião expressada por Poincaré, será apresentada neste trabalho como elemento comum entre essas áreas de conhecimento visto que possui poder de influência na criação de obras artísticas e científicas – ainda que com diferentes graus de importância ou com diversas conformações.

Para criar um espaço onde os elementos que foram elencados possam ser colocados lado a lado, empregaremos a ideia de *Umwelt* – do alemão, que significa “ambiente, o mundo à volta,

¹³⁰ “The scientist does not study Nature because it is useful; he studies it because he delights in it, and he delights in it because it is beautiful. If Nature were not beautiful, it would not be worth knowing, life would be not worth living. Of course, I do not here speak of that beauty which strikes the senses, the beauty of qualities and of appearances; not that I undervalue such beauty, far from it, but it has nothing to do with science; (...) intellectual beauty is sufficient unto itself, and it is for its sake, more perhaps than for the future good of humanity (...).” POINCARÉ (2004), p. 22.

ou mundo em torno”.¹³¹ Esse termo foi proposto pelo biólogo Jakob von Uexkull (1864-1944) – e adotado posteriormente pela semiótica de Charles Peirce (1839-1914) –, para retratar o modo como cada espécie percebe e interage com o mundo externo a si própria, criando uma “*interface entre o sistema vivo e a realidade, interface essa que caracteriza a espécie, (...)*”.¹³²

Cada indivíduo cria, em seu *Umwelt*, um sistema de signos que age como intercâmbio entre ele e o ambiente (ou outros indivíduos, espécies, etc). Este sistema é formado por imagens particulares do indivíduo que são transformadas em representações externas a ele, através do uso de um sistema comum de imagens. Com esse conceito, o semiólogo Jorge Albuquerque Vieira (1945-) propõe que, tanto artistas como cientistas, em seus *Umwelten*, possuem um sistema próprio de ideias com os quais se comunicam com o mundo fora de sua bolha de experiências e, por meio da criatividade, expandem as suas vivências para fora da sua bolha, produzindo conhecimento sobre o mundo externo. Ele afirma que a Arte produz conteúdo qualitativo que “explora as possibilidades do real (...) da mesma forma, a boa ciência envolve a qualidade do ato criativo científico. O belo modelo. A equação elegante. O experimento sofisticado. (...) o conhecimento artístico, como aquele científico, também atua (...) na dilatação do *Umwelt* da espécie humana.”¹³³

Essa expansão do *Umwelt* que em Uexkull avança, além da interface biológica, a psicológica, a social e cultural, pode ser comparado ao “novo enquadramento e mapeamento da realidade” feito por artistas e cientistas citado por Oppenheimer, no entendimento que ambos extrapolam os limites do conhecimento existente ao proporem novas formas de visão sobre a Natureza e a realidade. Ainda que difiram da forma como apreendem o mundo ao seu redor, Vieira afirma que, na existência dessas interfaces, “(...) Ciência e Arte são formas de conhecimento que envolvem atos de criação e diferem na hipótese filosófica gnosiológica adotada pelos seus praticantes”.¹³⁴

Falando a mesma língua....

Nesse ponto da nossa argumentação, já podemos vislumbrar uma interlocução através de uma interface de diálogo entre os *Umwelten* de artistas e cientistas, onde a Beleza será sua linguagem. Para concretizar essa “conversa”, propomos a construção de um “dicionário” sobre a Beleza através do seguinte método: vamos listar os conceitos que foram elencados no capítulo 2 (sobre a Estética) para usá-los como espinha dorsal e, a partir deles, cruzar com aqueles outros

¹³¹ Dicionário Langenscheidts – Deutsche als Fremdsprache

¹³² VIEIRA (2006), p. 79.

¹³³ Idem, pp. 83-4.

¹³⁴ Ibidem, (2006), p. 77.

levantados nos capítulos 1 (Epistemologia) e 3 (Física), fazendo uma síntese para cada um. No entanto, antes de apresentarmos o conjunto resultante dessa compilação, precisamos fazer uma reflexão sobre esse processo. Os textos-síntese foram escritos tendo em mente os sentidos originais representados em cada área do conhecimento, cada um deles tendo sido estudado em seu contexto, e buscando estabelecer termos de compreensão comuns a todos.

No entanto, em muitas leituras nos deparamos com dificuldades estabelecer correlações visto que a natureza de alguns conceitos parecia completamente disparatada das outras áreas do conhecimento. O conceito mais difícil que se apresentou foi o de Simetria. Já durante a pesquisa nos foi apontado algumas vezes por colegas pesquisadores que a esse conceito na Física era incompatível com a Estética. Por isso mesmo esse conceito se tornou um desafio para essa tese.

A partir daí percebemos a necessidade de falarmos um pouco do que foi nossa experiência com a síntese da Simetria. Ela serve de exemplo do que fizemos para sintetizar igualmente os outros termos do nosso proposto “dicionário”.

Considerações especiais sobre a Simetria

“A definição matemática precisa de simetria envolve a noção de invariância. Uma figura geométrica é dita simétrica sob certas operações se as mesmas deixam a figura imutável”.¹³⁵ Por exemplo, um círculo é invariante em todas as suas transformações à volta do seu centro.

A Simetria na Física é descrita de forma bastante sucinta por Heisenberg como “(...) propriedade de transformação em operações que deixam inalteradas as leis da Física”.¹³⁶ Murray Gell-Mann corrobora: “dizemos, em geral, que há simetria sob certas operações se essas operações deixam o fenômeno ou sua descrição, intocada”¹³⁷ e exemplifica: “as equações de Maxwell são, é claro, simétricas sob as rotações de todo o espaço. Não importa se nós girarmos todo o espaço em qualquer ângulo, ele (...) não muda o fenômeno da eletricidade ou do magnetismo.”¹³⁸ Esse tipo de simetria, em que o objeto permanece inalterado em qualquer transformação do espaço físico sob qualquer ângulo é chamada “simetria rotacional”.¹³⁹

Ou seja, a Simetria pressupõe que ocorra algum tipo de transformação sobre um sistema e que seja mantida a sua invariância. Ela pode atuar sobre diferentes grandezas do sistema e aquela (ou mais de uma) que permanecer invariante vai definir a simetria.

¹³⁵ ZEE (2007), p. 9.

¹³⁶ HEISENBERG (2011), p. 190.

¹³⁷ “So we say, in general, that there's a symmetry under certain operations if those operations leave the phenomenon, or its description, unchanged.” GELL-MANN (2007).

¹³⁸ “Maxwell's equations are of course symmetrical under rotations of all of space. Doesn't matter if we turn the whole of space around by some angle, it doesn't (...) change the phenomenon of electricity or magnetism”. GELL-MANN (2009).

¹³⁹ ZEE, op.cit., p. 11.

Ela também pode ser categorizada de acordo com o tipo de transformação a que o sistema é submetido. Por exemplo, a quiralidade é um fenômeno de simetria que corresponde ao seu reflexo especular (inversão no espelho): um objeto que está do lado direito de uma figura corresponde a um mesmo objeto, porém do lado esquerdo da figura. Nossa mão direita corresponde à mão esquerda do nosso reflexo. Na natureza sempre se acreditou que a quiralidade ocorresse com iguais probabilidades: sem distinguir entre direita ou esquerda, um fenômeno qualquer poderia se manifestar com iguais chances de uma forma ou de outra (a chamada ‘paridade’). A simetria de quiralidade ocorre quando há variância de paridade.

Na Física, a paridade de uma partícula pode ser definida pelo seu *spin*, ou “helicidade”, com orientação *up* ou *down*. Sempre se considerou que as partículas assumissem uma ou outra direção, com a mesma igualdade probabilística. No entanto, em 1956 foi detectada uma quebra na variância de paridade no neutrino: ele ocorria apenas em um sentido (*up*) e o antineutrino somente no sentido oposto (*down*) – não foi detectado, até hoje, um neutrino *down* ou um antineutrino *up*. Percebeu-se que, ao contrário do que era dado como certo, a Natureza não respeitava a quiralidade em todas as suas leis: em casos específicos das interações fracas entre partículas, ocorria a violação da paridade. A quebra de simetria se tornou uma ferramenta fundamental para explicar muitos fenômenos e teorias que haviam sido abandonados por terem sido limitados pela quiralidade.

A quiralidade mostra que ambas, simetria e a sua quebra, são fundamentais para os sistemas físicos com uma outra importante função: a de harmonizar as diferenças nas trocas de energia. Uma simetria violada produz uma diferença criada pela própria simetria para introduzir equilíbrio ao sistema. Quando essa harmonização é espontânea, não é necessária a intervenção de um fator externo para que ela ocorra, caso contrário a quebra de simetria é que vai organizar a harmonia do sistema.

Uma simetria importante é a “simetria de Poincaré” (ou simetria espaço-temporal da Relatividade Especial), que mostra a invariância relativística do movimento de dois objetos: um trem está parado ao lado de outro estacionário. Ao se deslocar, um observador poderá ter a ilusão de que ele está parado enquanto o outro trem se move.

Também ocorre uma simetria de translação na Física quando a ocorrência de um determinado fenômeno ou os resultados de um dado experimento são os mesmos em dois lugares diferentes.

Um caso interessante é a simetria-T. Nela é proposto que se um sistema evolui de um certo estado até outro estado, se o pararmos em um certo instante e invertemos o tempo e as velocidades, o sistema retorna ao estado inicial seguindo a mesma trajetória.

Uma importante simetria que ocorre na matemática pode ser exemplificada pelos fractais¹⁴⁰. Ao serem observado no plano, a imagem fractal repete infinitamente um mesmo desenho ou padrão (que é determinado por uma equação). O que ocorre é uma “simetria de sobreposição” (que é quando uma imagem é idêntica e pode ser justaposta a outra) proporcional, ou seja, mudando de tamanho obedecendo a uma razão definida. Visualmente a mesma forma se repete com variação de tamanho, sempre com igual proporção determinada pela equação.

Por último, fechando a questão, devemos levar em consideração ainda a ocorrência da supersimetria, que se dá com a unificação de uma dicotomia entre bósons e férmions sob o mesmo comportamento. Com a supersimetria na gravitação considera-se a existência de uma natureza quântica no espaço curvo da TRG.

Existem muitas simetrias na Física, classificadas de uma outra forma: as simetrias unitárias e as simetrias discretas, entre outras. O fundamental que se pode concluir sobre as simetrias na Física é:

- São um conjunto de diferentes tipos e classificações;
- Ocorrem desde a simetria matemática mais simples, nas transformações geométricas;
- Estão relacionadas com a invariância e com transformações no sistema;
- Possuem um fator de harmonização do sistema;
- A quebra de simetria faz parte do equilíbrio do sistema.

A artista Fayga Ostrower comenta sobre a composição que está ilustrada pela obra *Santa Ceia* de Da Vinci: “Nas imagens do Renascimento, todos os pontos de fuga estão localizados no centro da linha do horizonte, no cruzamento do eixo vertical com a profundidade. Resulta daí uma espécie de simetria na composição, que caracteriza a perspectiva central, conferindo grande estabilidade ao espaço formulado pelo artista.”¹⁴¹ Com o auxílio de teorias e definições dos elementos formais da arte, identificamos, como assinalado pela artista, diversas “espécies de simetria”.

Na Geometria Euclidiana identificam-se três formas de simetria, ditas “clássicas”, em que a figura original é refletida sobre outros planos:

- A simetria isométrica – na qual a figura é rebatida em um plano idêntico ao original, pode ocorrer a partir de um eixo axial paralelo à figura (espelho) ou um eixo axial

¹⁴⁰ Veja imagens 46, 47 e 48 no Anexo.

¹⁴¹ OSTROWER (1998), p. 37. (grifo nosso)

perpendicular à figura (giro). Esta simetria resulta em uma imagem que não apresenta alterações nas características morfológicas da figura original (ângulos, distância entre pontos etc.);

- A simetria de afinidade – pode ser visualizada como um espelhamento sobre um cilindro. A imagem resultante mantém algumas de suas características, como as linhas retas, e alterando outras – como os ângulos e distâncias entre os pontos –, resultando em uma espécie de “esticamento” da morfologia original.
- A simetria topológica – que poderíamos definir de forma resumida como uma reflexão da figura sobre um plano totalmente flexível (como um tapete de borracha). Percebe-se que a figura sofre uma alteração morfológica radical, sendo deformada em todas as direções da superfície. A imagem assim modificada é rebatida de volta ao plano, resultando em uma figura que não mantém nenhuma característica da morfologia original: por exemplo, nenhuma de suas linhas permanece reta.

Segundo Hermann Weyl (1885-1955), “a simetria é a ideia pela qual o homem através dos anos, tentou compreender e criar ordem, beleza e perfeição.”¹⁴² Ele afirma que “a mente humana acha prazerosa a economia de design associada à simetria bilateral”¹⁴³, aquela que está mais enraizada na nossa cultura, oriunda de ligações com a imagem de equilíbrio, a mais usada hoje em dia, que distingue o direito do esquerdo. Essa simetria bilateral é estritamente geométrica e aborda as maneiras de as formas de visualização de um objeto ou refletido em planos no espaço, com comportamentos idênticos aos já descritos na geometria euclidiana.

Em seus estudos ele classificou, além da já citada simetria bilateral, outros quatro tipos claramente distintos de simetria, sendo que essas todas estão unidas por uma ideia comum – da invariância da configuração dos elementos sob grupos de transformação. Vejamos:

- A simetria translatória – atua sobre o sistema com deslocamento rígido de todos os pontos da figura, mantendo suas propriedades inalteradas. Assim se formam as imagens com um padrão de repetição. Além da translação pura, combina também a com a reflexão (simetria bilateral).

¹⁴² “*Symmetry (...) is one idea by which man through ages has tried to comprehend and create order, beauty and perfection*”. WEYL (1952), p. 5.

¹⁴³ “*The human mind finds pleasing the economy of design associated with bilateral symmetry*”. WEYL (1952), p. 25. **Veja imagem 31 no Anexo.**

- A simetria rotacional – é aquela que realizando uma rotação rígida sobre o sistema, mantem a figura original sem alteração de suas propriedades. Também como na simetria anterior, aqui se aplica a rotação pura ou combinada com a reflexão.¹⁴⁴
- A simetria ornamental – se baseia no hexágono regular e suas combinações, bem como as imagens geradas em conjunto com outras figuras geométricas. Quando combinadas no plano (2D), essas simetrias são denominadas ornamentos, quando projetadas no espaço (3D), caracterizam uma outra simetria específica, a do arranjo de átomos em forma cristalizada¹⁴⁵.
- A simetria cristalográfica – trata-se do arranjo tridimensional de elementos químicos em simetrias hexagonais, cúbicas e outras, conforme o formato do cristal¹⁴⁶.

Weyl reconhece um fenômeno arquitetônico que ele denomina “assimetria histórica”, que está presente nas construções medievais e que ele usa para justificar a assimetria presente em partes das construções que atravessaram décadas para serem construídas, como as catedrais medievais¹⁴⁷. Naturalmente que a conclusão de certas obras ocorreu já quando um outro “regime estético” se encontrava em vigor, então é comum a identificação nas construções de torres ou outras partes finalizadas com um estilo completamente diferente do anterior. O interessante é que Weyl fala que temos uma visão simétrica ainda que a partir de uma assimetria: “mesmo em designs assimétricos sente-se a simetria como a norma da qual se foi desviado sob forças de influência de caráter não-formal”.¹⁴⁸

Essa relação entre simetria e assimetria também é relevante para a artista Fayga Ostrower que, no entanto, a enxerga de forma contrária à Weyl: “Na arte, todas as formas são percebidas de modo assimétrico, até mesmo no caso de formas simétricas como o quadrado (...) em virtude da prioridade que damos em nossas estimativas à vertical (...). Há, sim, equivalências, de partes desiguais, (...) em suas posições e com tensões diferentes, porém visualmente equivalentes (...)”.¹⁴⁹

Percebemos que, fora os casos em que se apresenta uma simetria rígida, de modo geral o ser humano convive com uma simetria que é muito melhor definida como um “sentimento de simetria”, por aproximar do conceito, formas explicitamente assimétricas em sua construção,

¹⁴⁴ Veja imagens 32 e 33 no Anexo.

¹⁴⁵ Veja imagens 34 e 35 no Anexo.

¹⁴⁶ Veja imagem 36 no Anexo.

¹⁴⁷ Veja imagem 37 no Anexo.

¹⁴⁸ “*even in asymmetric designs one feels symmetry as the norm from which one deviates under the influence forces of non-formal character.*” WEYL (1952), p. 13.

¹⁴⁹ OSTROWER (1998), p. 85.

mas que estão relacionadas com uma percepção simétrica, por aproximações relevantes. Otto Ocvirk apresenta em sua obra¹⁵⁰ a simetria classificada de acordo com o conceito de equilíbrio. Ela pode ser de vários tipos¹⁵¹:

- simetria de equilíbrio formal – baseada nos tipos de simetria já classificados por Euclides e Weyl. São as chamadas “simetrias clássicas”.
- de equilíbrio simétrico aproximado – quando formas e disposições nos levam a ver um equilíbrio simétrico que se aproximam das simetrias formais.
- o equilíbrio radial – aquele que se dá pela repetição de elementos a partir de um centro especificado e distribuído de forma radial com ou sem transformações do tipo translação ou rotação.
- equilíbrio assimétrico (ou equilíbrio informal/oculto) – é aquela que se apresenta através de elementos assimétricos que formam um quadro harmonizado entre as suas estruturas, usando dos elementos formais da arte para esse fim: forma, cor, contrastes de luz, proporções, ordem etc.

O que de mais importante se pode destacar sobre as simetrias na Estética é:

- São um conjunto de diferentes tipos e classificações;
- Ocorrem desde a simetria matemática mais simples, nas transformações geométricas;
- Estão relacionadas com a invariância e com transformações no sistema;
- Possuem um fator de harmonização do sistema;
- A quebra de simetria faz parte do equilíbrio do sistema.

Coincidência? Ludwig Wittgenstein (1889-1951) apontou um caminho para entender a ocorrência dessa igualdade de casos aparentemente iguais e tão diferentes entre si:

“Considere os processos que chamamos de ‘jogos’. Refiro-me a jogos de tabuleiro, de cartas, de bola, torneios esportivos, etc. O que é comum a todos eles?... você não verá, na verdade, algo que seja comum a todos, mas... vemos uma rede complicada de similaridades que se sobrepõem e se entrecruzam: às vezes similaridades de conjunto, às vezes similaridades de detalhe. Eu não posso conceber nenhuma

¹⁵⁰ OCVIRK (2014).

¹⁵¹ Veja imagens 38 a 45 no Anexo.

expressão melhor para caracterizar essas similaridades do que a expressão ‘semelhanças de família’¹⁵².

A partir desses equilíbrios assimétricos e do simétrico aproximado, construímos uma concepção de “família de simetrias”, composta por essas simetrias de similaridades, e que ocorre tanto na Física quanto na Estética de formas semelhantes. Ou seja, mesmo ocorrendo de maneiras completamente diferentes elas acabam cumprindo com os mesmos objetivos, cada uma no seu contexto, tornando-se plenamente equivalentes.

Enfim, construindo o conhecimento juntos.

A Beleza é constituída pela junção de diversos elementos, aqui apresentados, numa síntese do que foi estipulado na Estética, na Epistemologia e na Física de forma que possam ser aplicados de igual maneira por todas as três áreas. Entenda-se aqui o termo “obra” e “sistema” como o trabalho final a ser alcançado tanto pelo artista quanto pelo físico.

É chegado o momento de apresentarmos os termos do nosso “dicionário” sobre a Beleza:

BEM

Representa a Natureza pela razão e está presente na formação do cabedal de conhecimento humano. Eleva os sentimentos nobres do espírito humano na busca pela verdade.

✧

COERÊNCIA

Consistência das ideias, dos elementos, termos e representações. Ter concisão sem perda de conteúdo. Manter a ligação entre o todo e as partes, as ideias gerais e as subjacentes no sistema.

✧

CONHECIMENTO

Percepção através dos sentidos dos fenômenos na Natureza. Exercício da imaginação e do intelecto. Capacidade de relacionar diferentes fenômenos e linguagens.

✧

ELEGÂNCIA

Completude: nada a acrescentar ou retirar. Imagens e resultados graciosos e assertivos. Clareza e precisão. Economia de elementos, reduzidos aos necessários.

✧

EQUILÍBRIO

¹⁵² WITTGENSTEIN *apud* HERWITZ (2010), p. 14. (grifo nosso)

Harmonia entre os elementos e as relações entre eles. Quietude, quebra das tensões.
Equiparação entre elementos aparentemente distintos.

✧

FINALIDADE

Busca da verdade, do conhecimento e da função de um elemento dentro de um todo.

✧

GOSTO

Em conformidade com a prática, segundo a escolha do agente criador.

✧

ORDEM

Padrão, arrumação, disposição, sistema, hierarquia dos elementos ou ferramentas de construção do quadro geral da obra. Sistema em harmonia total.

✧

PROPORÇÃO

Relação e equiparação de intensidades, formas e ordenações das partes em relação ao todo do sistema, segundo um padrão ou razão.

✧

SENSIBILIDADE

Prazer da observação do fenômeno, da Natureza, da obra final, da estrutura do sistema.

✧

SIMETRIA

Relação entre as transformações e as invariâncias dos elementos da obra. Harmonizam o sistema, ainda quando contém elementos de assimetria ou de quebras de simetria como parte do conjunto. Se apresentam em famílias de similaridades.

✧

SÍNTESE

Clareza e simplicidade como síntese resultante de um processo de transformação. Contem em si a complexidade do sistema expresso de forma resumida e assertiva.

✧

VERDADE

Correspondência adequada entre o que está representado na obra e sua contraparte no mundo real. Estar em conformidade com a Natureza.

A Epistemologia Estética como método

A Beleza pode e deve ser empregada como um método de se chegar à verdade. Mas a Beleza *per se* não fornece certezas. Acreditar nisso pode induzir um cientista ao erro. Para estabelecer uma forma confiável de se empregar a Beleza como método investigativo é que propomos o que chamamos “Epistemologia Estética”.

O método permite que se monte o ferramental em conformidade com o modo de pensar e de trabalhar do cientista. Para isso é necessário que se satisfaça a vários critérios que compõe o sentido de Beleza.

Nem todos os elementos constantes tem a obrigação de serem usados como critério. A Beleza, como vimos, é relativa ao seu criador. Em conformidade com a referência ao juízo de gosto, o pesquisador atestará o que é a Beleza e com que termos irá descrevê-la a partir da sua própria experiência e do seu Universo. Como um ferramental artístico, o Físico escolherá as cores que deseja em sua paleta, o pincel e o tipo de tinta que irá empregar ao criar as suas formas – aqueles que lhe forem mais adequadas à sua pesquisa.

O que o cientista deve fazer é: estabelecer de início quais os critérios que a sua pesquisa deve seguir e estar de acordo. Deve emprega-los durante todo processo até chegar a um resultado empiricamente validado ou refutado por um ou mais experimentos. Este resultado, por sua vez, deve ser coerente com o conceito de Verdade (o fenômeno).

A questão do estilo não é, ao contrário do que se pode pensar, uma característica de um artista ou exclusivamente da arte. Na contemporaneidade, mais do que nunca, estilo é uma expressão de individualidade. É sua marca inconfundível e, não obstante, uma ferramenta.

Jorge Vieira coloca com a proposição da existência de diversos *Umwelten* dentro da espécie humana, onde “estilos artísticos, habilidades empíricas ou teóricas etc, podem ser índices dessas diferenciações”¹⁵³. Essa definição também ganha subsídio na definição de estilo artístico de OSTROWER onde, na “interpenetração de memória e intuição surgem certas tendências deterministas que, consciente e inconscientemente, haverão de guiar o fazer de um artista na escolha de temas, técnicas, formas, nos possíveis experimentos e por fim também no equilíbrio global de suas imagens”.¹⁵⁴

Para os fins da nossa tese, consideramos o estilo como fator de escolha do modo de representação das ideias de um artista, bem como de um cientista na construção de seus quadros de realidade. Werner Heisenberg faz uma conexão entre a forma de construção das ideias de um cientista e um artista: “Bohr usa a mecânica clássica e a teoria quântica como um pintor usa

¹⁵³ VIEIRA (2006), p. 85.

¹⁵⁴ OSTROWER (1998), p. 65.

pincéis e cores. Os pincéis não determinam o quadro e a cor nunca é a realidade completa; mas, se conservar o quadro na mente, o artista pode usar o pincel para transmitir aos outros (...) sua imagem mental”.¹⁵⁵ Da mesma forma, poderíamos vir a destacar diferentes estilos dentro da Estética Epistemológica baseados na forma de se observar a construção das ideias científicas.

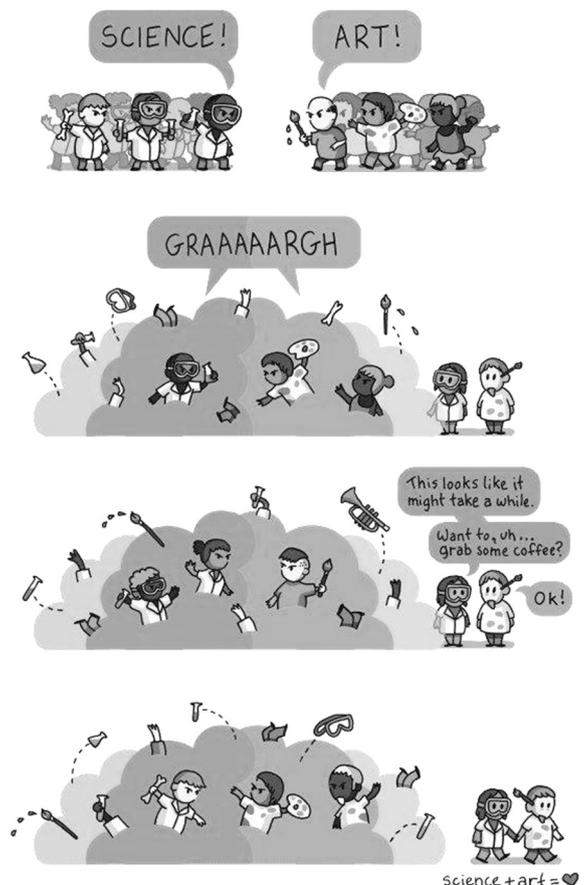
A gente se encontra para um café...

Esta tese fornece ferramentas para que artistas e cientistas possam ter de uma visão em comum sobre a Beleza. Com elas, um artista pode ser capaz de propor uma ideia de cunho científico e extrapolar o real através da sua imaginação. Já o cientista será capaz de empregar na sua pesquisa uma teoria de cunho estético mais refinada, através da qual poderá desenvolver sua sensibilidade.

A meu ver esse trabalho abre portas para diversas atividades continuadas:

- ❖ Propor de forma experimental, que o método apresentado seja colocado em prática por um grupo de Físicos;
- ❖ Apoiar a proposição de pesquisas de interesse comuns a artistas e cientistas em instituições abertas à tentativa deste tipo de interdisciplinaridade;
- ❖ Aprofundar cada um dos itens selecionados com aplicações visuais, que venha a estimular que se faça Arte e Ciência com parâmetros de Beleza equivalentes.

Como experiência pessoal, a pesquisa para a tese extrapolou minhas expectativas de aprendizado. Além de ter me aprofundado dentro de um campo filosófico diretamente ligado à minha formação em Belas Artes, ampliou meu horizonte para enxergar a Natureza e seus



¹⁵⁵ HEISENBERG (1996), p. 49-50.

espaços de características únicas com a Física. E, por fim, ambas as áreas de conhecimento se completam sob a égide da construção do conhecimento.

Meu maior desejo é que este trabalho, de alguma forma, influencie o olhar de artistas e cientistas para o seu *modus operandi*, que funcione como um desencadeador de novas formas de investimento da energia criativa na ciência e nas artes.

A Matemática, corretamente observada,
possui não somente a Verdade, mas suprema Beleza
- uma Beleza fria e austera, como a de uma escultura,
sem nenhum apelo a qualquer parte mais fraca da nossa natureza,
sem os belos ornamentos da pintura ou da música,
mas sublimemente pura, e capaz de uma perfeição rígida,
como só a grande Arte pode mostrar.
O verdadeiro espírito de alegria, exaltação,
no sentido de ser mais do que o Homem,
que é a pedra de toque da mais alta excelência,
encontra-se na Matemática,
tão certo como a Poesia.

(Bertrand Russel)

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

FONTES PRIMÁRIAS

IMPRESSAS

DIRAC, Paul A. M. The excellence of Einstein's theory of gravitation. In: GOLDSMITH, M. et al (Eds) . *Einstein: the first hundred years*. Oxford: Pergamon Press, 1980.

_____. The evolution of the physicist's picture of nature. In: *Scientific American*, v. 208, n. 5, May. New York: Nature America, 1963.

_____. *The relation between mathematics and physics*. In: Proceedings of the Royal Society, v. 59, Part II, p. 122-129. Edinburgh: The Royal Society, 1939.

FEYNMAN, Richard P.; LEIGHTON, Robert B.; SANDS, Matthew. *Lições de Física de Feynman: edição definitiva*. 3vols. Porto Alegre: Bookman, 2008.

FEYNMAN, Richard P. Simetria nas leis físicas. In: _____. *Sobre as leis da Física*. Rio de Janeiro: Editora Contraponto, 2012.

_____. *What do you care what other people think?* New York: WW Norton & Co., 2005.

_____. *The pleasure of finding things out*. Cambridge: Persues Books, 1999.

_____. *QED – a estranha teoria da luz e da matéria*. Lisboa: Gradiva, 1988.

_____. Nobel Lecture. In: *Nobel lectures, Physics, 1963-1972*. Amsterdam: Elsevier, 1972. Disponível em: <www.nobelprize.org>. Acesso em: 25 de agosto de 2017.

GELL-MANN, Murray. *O quark e o jaguar*. Rio de janeiro: Rocco, 1996.

VÍDEOS

FEYMANN, Richard P. *The Fantastic Mr Feynmann*. Documentário da BBC. Disponível em: <www.youtube.com/watch?v=LyqleIxXtpw> Acesso: em 17 de junho de 2015.

_____. *Fun to imagine*. Entrevista. Disponível em: <www.youtube.com/watch?v=equNXWT0mo> Acesso em: 17 de junho de 2015.

GELL-MANN, Murray. *Beauty and thruth in physics*. Palestra do TED Talks 2007. Disponível em: <www.youtube.com/watch?v=UuRxRGR3VpM> Acesso em: 17 de junho de 2015.

_____. *Beauty and Elegance in Physics*. Palestra na Universidade de Scranton, 2009. Disponível em: <www.youtube.com/watch?v=anHgZru8acg> Acesso em: 17 de junho de 2015.

_____. *On The Quark Model*. Disponível em: <www.youtube.com/watch?v=KDkaMuN0DA0> Acesso em: 17 de junho de 2015.

SITES

DIRAC PAPERS – <<http://fsuarchon.fcla.edu/?p=collections/findingaid&id=3622>> Acesso em: 23 de maio de 2016.

FEYNMANN LECTURES – <www.feynmanlectures.caltech.edu> Acesso em: 17 de junho de 2015.

FEYNMANN MANUSCRIPTS – <<http://archives.caltech.edu/collections/manuscripts.html>> Acesso em: 17 de junho de 2015.

FEYNMANN OFFICIAL SITE – <www.richardfeynman.com> Acesso em: 17 de junho de 2015.

GELL-MANN - UNIV. OF SANTA FE – <http://tuvalu.santafe.edu/~mgm/Site/Front_Page.html> Acesso em: 17 de junho de 2015.

FONTES SECUNDÁRIAS

IMPRESSAS

AMEISEN, Jean Claude; BROHARD, Yvan. *Quand l'art rencontre la science*. Paris: Éditions de La Martinière, 2007.

ASSIS, A. K. T.; RIBEIRO, J. E. A.; VANNUCCI, A. The field concepts of Faraday and Maxwell. In: *Trends in Physics – Festschrift in Homage of Prof. José Maria Filardo Bassalo*. Physics Articles, p. 33-38. São Paulo: Ed Livraria da Física, 2009.

BASSALO, José Maria F.; CARUSO, Francisco. *Salam*. São Paulo: Editora Livraria da Física, 2016.

_____. *Dirac*. São Paulo: Editora Livraria da Física, 2013.

_____. *Feynman*. São Paulo: Editora Livraria da Física, 2013.

BAYER, Raymond. *História da Estética*. Lisboa: Editorial Estampa, 1979.

BOHR, Niels. *Física atômica e conhecimento humano: ensaios 1932–1957*. Rio de Janeiro: Editora Contraponto, 1995.

_____. *Atomic physics and human knowledge: essays 1958-1962*. New York: Interscience Pub., 1963.

_____. Banquet Speech. In: SANTESSON, C. G. (Ed) *Les Prix Nobel 1921-1922*. Stockholm: Nobel Foundation, 1923. Disponível em: <www.nobelprize.org> Acesso em: 25 de agosto de 2017.

- BRUSH, Stephen G. *The history of modern science – a guide to the second scientific revolution, 1800-1950*. Ames: Iowa State University Press, 1988.
- CARUSO, Francisco e MOREIRA, Roberto X. de Araújo. *O livro, o espaço e a natureza: ensaio sobre a leitura do mundo, as mutações da cultura e do sujeito*. São Paulo: Livraria da Física, 2017.
- CARRITT, E. F. *Philosophies of beauty: from Socrates to Robert Bridges being the source of aesthetic theory*. Oxford: Clarendon Press, 1966.
- CHANDRASEKHAR, S. (Ed). *Truth and Beauty – Aesthetics and motivation in Science*. Chicago: The Chicago University Press, 1987.
- CUNNINGHAM, Andrew e JARDINE, Nicholas. *Romanticism and the sciences*. Cambridge: Cambridge University Press, 1990.
- DANTO, Arthur C. *O abuso da Beleza – a estética o conceito de arte*. São Paulo: Martins Fontes, 2015.
- DASTON, Lorraine; LUNBECK, Elizabeth (Ed). *Histories of Scientific Observation*. Chicago: University of Chicago Press, 2011.
- DICKINSON, M. Beauty doth of itself persuade: Dirac on quantization, mathematical beauty and theoretical understanding. In DICKINSON, M.; DOMSKI, Mary (Ed). *Discourse on a new method – revigorating the marriage of history and philosophy of science*, p. 405-421 Chicago: Open Court, 2010.
- DONDIS, Donis A. *Sintaxe da Linguagem Visual*. São Paulo: Editora Martis Fontes, 2000.
- DRAKE, Stillman. *Discoveries and opinions of Galileo*. New York: Doubleday, 1957.
- DUARTE, Rodrigo (Ed). *O Belo autônomo – Textos clássicos de estética*. Belo Horizonte: Autêntica Editora, 2013.
- DUHEM, Pierre. Salvar os Fenômenos. In: *Cadernos de História e Filosofia da Ciência*, Suplemento 3/1984. Campinas: UNICAMP, 1984.
- ECO, Umberto (Org). *A história da feiura*. Rio de Janeiro: Record, 2007.
- _____. *A história da beleza*. Rio de Janeiro: Record, 2004.
- EDE, Siân. *Art & Science*. New York: I. B. Tauris, 2012.
- EINSTEIN, Albert. Letter to Jacques Hadamard. In: GHISELIN, Brewster. *The Creative process – a symposium*, p. 32-33. Berkeley: University of California Press, 1985.
- _____. In: SCHILPP, Paul A. (org). *Albert Einstein: philosopher – scientist*. Cambridge: Cambridge University Press, 1949.
- _____. Physics and Reality. In: *Journal of the Franklin Institute*, v. 221, p. 349-382, mar/1936.
- EMMER, Michele. Art and visual mathematics. In: *Leonardo*, v. 27, n. 3, p. 237-240. Cambridge: The MIT Press, 1994.

- ENGLER, Gideon. Einstein and the most beautiful theories in physics. In: *International Studies in the Philosophy of science*, v.16, n. 1, p. 27-37. New York: Routledge, 2002.
- _____. From art and science to perception: the role of aesthetics. In: *Leonardo*, v. 27, n. 3, p. 207-209. Cambridge: The MIT Press, 1994.
- FARMELO, Graham. *The strangest man: the hidden life of Paul Dirac, mystic of the atom*. New York: Basic Books, 2011.
- _____. Paul Dirac, a man apart. In: *Physics Today*, v. 63, n. 5, p. 46-50. New York: American Institute of Physics, 2009.
- _____. (Ed). *It must be beautiful – great equations of modern science*. New York: Granta Books, 2003.
- FEYERABEND, Paul. *Contra o método*. Rio de Janeiro: Francisco Alves, 1989.
- FORD, Brian J. *Images of science: a history of scientific illustration*. New York: Oxford University Press, 1993.
- FRITZSCH, Harald. Murray Gell-Mann – a scientific Biography. In: FRITZSCH, H. (Ed) *Proceedings of the conferende in honour of Murray Gell-Mann's 80th Birthday*. Singapore: World Scientific Publishing Co, 2010.
- GETTIER, Edmund. Is justified true belief knowledge? In: *Analysis*, v. 23, n. 6, p. 121-123. UK: The Analysis Trust, 1963.
- GHISELING, Brewster. *The creative process – reflections on invention in the arts and sciences*. Studio City: The Transformational Book Circle, 2005.
- GLEICK, James. *Genius: the life and science of Richard Feynman*. New York: Vintage Books, 1993.
- GOMBRICH, Ernst H. *The story of art*. London: Phaidon, 1995.
- HADAMARD, Jacques. *Psicologia da invenção na matemática*. Rio de Janeiro: Contraponto, 2009.
- HARDY, G. H. *Em defesa de um matemático*. São Paulo: Martins Fontes, 2000.
- HEILBRON, J.L. Domesticating science in the eighteenth century. In: SHEA, William R. (ed). *Science and the visual image in the Enlightenment* (col. European studies in Science History and Art, v. 4). Canton: Science History Publications, 2000.
- HEISENBERG, Werner. *A parte e o todo*. Rio de Janeiro: Contraponto, 1996.
- HEMENWAY, Priya. *O código secreto*. Koln: Evergreen, 2010.
- HERWITZ, Daniel. *Estética – conceitos-chave em Filosofia*. Porto Alegre: Artmed, 2010.
- HESSE, Mary. *The structure of Scientific Inference*. Berkeley: University of California Press, 1974.

- HOLTON, Gerald. *Thematic origins of scientific thought – Kepler to Einstein*. Revised edition. Cambridge: Harvard University Press, 1988.
- _____. As raízes da complementaridade. In: *Humanidades*, v. 2, n. 9, p. 49-71, out/dez, 1984.
- _____. *A imaginação científica*. Rio de Janeiro: Zahar, 1978.
- _____. On the role of themata in the scientific thought. In: *Science*, 188, 25 april, p. 328-334. New York: AAAS, 1975.
- HOLTON, Gerald; BRUSH, Stephen. Thematic elements and styles in science. In: HOLTON, G.; BRUSH, S. *Physics, the human adventure: from Copernicus to Einstein and beyond*. p. 517-530. New Brunswick: Rutgers University Press, 2001.
- JACKMAN, Ian. *The artist's mentor: inspiration from the most creative minds*. New York: Random House, 2004.
- JACKSON, Allyn. Simplicity, in mathematics and in art. In: *Notices of the American Mathematical Society*, v. 60, n. 7, p. 920-922. Providence: AMS, 2013
- JONES, Caroline; GALISON, Peter. *Picturing science; producing art*. New York: Routledge, 1998.
- JOHNSON, George. *Strange Beauty: Murray Gell-Mann and the Revolution in Twentieth-Century Physics*. New York: Vintage Books, 2000.
- KEMP, Gary. The aesthetic attitude. In: *British Journal of Aesthetics*, v. 39, n. 4, p. 392-399. Oxford: Oxford University Press, 1999.
- KEMP, Martin. *The science of art – optical themes in western art from Brunelleschi to Seurat*. New Haven: Yale University Press, 1989.
- _____. *Visualizations: the nature book of art and science*. Berkeley: California University Press, 2000.
- KIERAN, Matthew. *Contemporary debates in aesthetics and the philosophy of art*. Oxford: Blackwell Publishing, 2006.
- KOCKELMANS, Joseph J. (Ed) *Philosophy of science: the historical background*. Piscataway: Transaction Publishers, 1999.
- KOESTLER, Arthur. *The act of creation*. London: Hutchinson, 1964.
- KOYRÉ, Alexandre. *Estudos em história do pensamento científico*. Brasília: Forense Universitária / Universidade de Brasília, 1982.
- KRAGH, Helge S. The principle of mathematical beauty. In: KRAGH, H. *Dirac: a scientific biography*. New York: Cambridge University Press, 1992.
- KRAUSS, Lawrence M. *Quantum man: Richard Feynman's life in science*. New York: WW Norton, 2012.

- KUHN, Thomas S. *A estrutura das revoluções científicas*. São Paulo: Editora Perspectiva, 1978.
- LÀKATOS, Imre. O falseamento e a metodologia dos programas de pesquisa científica. In: LÀKATOS, I.; MUSGRAVE, Alan. *A crítica e o desenvolvimento do conhecimento*. p. 109-243. São Paulo: Editora Cultrix, 1979.
- _____. History of science and its rational reconstructions. In: HOWSON, Colin (ed) *Method and appraisal in the physical sciences – the critical background to modern science, 1800-1905*. p. 1-40. London: Cambridge University Press, 1976.
- LAPLACE, Pierre-Simon. *Ensaio filosófico sobre as probabilidades*. Rio de Janeiro: Contraponto, 2010.
- LEFF, Harvey S.; REX, Andrew F. *Maxwell's Daemon – entropy, information, computing*. Bristol: Adam Hilger, 1990.
- LOEB, Arthur L. *Structures and patterns in science and art*. In: *Leonardo*, v. 4, n. 4, p. 339-346. Cambridge: Pergamon Press, 1971.
- MARTINEAU, John (Org). *Quadrivium – as quatro artes liberais clássicas da Aritmética, da Geometria, da Música e da Cosmologia*. São Paulo: É Realizações, 2014.
- MAUDLIN, Tim. *Philosophy of Physics – space and time*. New Jersey: Princeton University Press, 2012.
- MAXWELL, J. C.; NIVEN, W. D. (ed). *The scientific papers of James Clerk Maxwell*. New York: Dover Publications, 1965.
- MCALISTER, James W. *Beauty and revolution in science*. Ihtaca: Cornell University Press, 1996.
- _____. Dirac and the aesthetic evaluation of theories. In: *Methodology and Science*, n. 23, p. 87-102, 1990.
- _____. Thruth and beauty in scientific reason. In: *Sinthese*, n. 78, p. 25-51, 1989.
- MILLER, Arthur I. *Insights of genius: imagery and creativity in science and art*. Cambridge: The MIT Press, 2000.
- MOREIRA, Marco Antonio; MASSONI, Neusa Teresinha. *Epistemologias do século XX*. São Paulo: Editora Pedagógica e Universiátia, 2011.
- MOURÃO, Ronaldo R. de Freitas. *Kepler: a descoberta das Leis do Movimento Planetário*. São Paulo: Odisseus Editora, 2008.
- NADIN, Mihai. Science and beauty: aesthetic structuring of knowledge. In: *Leonardo*, v. 24, n. 1, p. 67-72. Cambridge: The MIT Press, 1991.
- NEWTON-SMITH, W.H. *The rationality of science*. London: Routledge, 1990.
- OCVIRK, Otto; et alii. *Fundamentos de Arte – teoria e prática*. Porto Alegre: AMGH, 2014.

- OPPENHEIMER, Frank. Aesthetics and the right answer. In: *The Humanist*, v. 39, n. 2, p. 18-21, 1979.
- OTROWER, Fayga. *A Sensibilidade do intelecto*. Rio de Janeiro: Editora Campus, 1998.
- _____. *Criatividade e processos de criação*. Rio de Janeiro: Ed. Vozes, 1977.
- POINCARÉ, Henri. *Science and Method*. London: Thomas Nelson and sons, 1908. (reprint) Cornell University Library Digital Collection, 2014.
- _____. A intuição e a lógica na matemática. In: POINCARÉ, H. *O valor da Ciência*, 1905, p. 13-25. Reprint Rio de Janeiro: Editora Contraponto, 1995.
- _____. Mathematical creation. In: GHISELIN, Brewster. *The Creative process – a symposium*, p. 22-31. Berkeley: University of California Press, 1985.
- POPPER, Karl R. *Conjecturas e refutações*. Brasília: Ed. UNB, 1972.
- _____. *A lógica da pesquisa científica*. São Paulo: Editora Cultrix, 1972b.
- PRETTEJOHN, Elizabeth. *Beauty & Art 1750-2000*. Oxford: Oxford University Press, 2005.
- REICHENBACH, Hans. *Experience and Prediction*, Chicago University Press, 1938.
- RUSSEL, Bertrand. *História do pensamento ocidental: a Aventura dos pré-socráticos a Wittgenstein*. Rio de Janeiro: Nova Fronteira, 2017.
- SINGH, Simon. *O último teorema de Fermat*. Rio de Janeiro: Record, 1999.
- STEWART, Ian. *Uma história da simetria na matemática*. Rio de Janeiro: Zahar, 2012.
- SYKES, Christopher. *No ordinary genius: the illustrated Richard Feynman*. New York: WW Norton, 1996.
- VIEIRA, Jorge de Albuquerque. *Teoria do conhecimento e arte – formas de conhecimento: Arte e Ciência – uma visão a partir da complexidade*. Fortaleza: Expressão, 2006.
- WEINBERG, Steven. *Dreams of a final theory*. New York: Vintage Books, 1994.
- WEYL, Hermann. *Symmetry*. New Jersey: Princeton University Press, 1952.
- WÖLFFLIN, Heinrich. *Conceitos fundamentais da história da arte*. São Paulo: Ed. Martins Fontes, 1996.
- WULF, Andrea. *A invenção da Natureza – a vida e as descobertas de Alexander von Humboldt*. São Paulo: Planeta, 2016.
- ZEE, Anthony. *Fearful symmetry: the search for beauty in modern physics*. New Jersey: Princeton University Press, 2007.

ZEKI, Semir; ROMAYA, John Paul; BENINCASA, Dionigi M. T.; ATIYAH, Michael F. The experience of the mathematical beauty and it's neural correlates. In: *Frontiers in Human Neuroscience*, v. 8, p. 1-12. Lausanne: EPFL, 2014.

VÍDEOS

ATYIA, Michael H. *Beauty in Mathematics*. Depoimento para Web of Stories. Disponível em: <www.webofstories.com/play/michael.atiyah/90> Acesso em: 22 de abril de 2015.

MAY, Robert. *Beauty and thruth: their intersection in mathematics and science*. Palestra do evento Dirac Lecture 2011 em 29/04/2011 na University of New South Walles. Disponível em: <www.youtube.com/watch?v=aS1xCh5G0pc> Acesso em: 17 de junho de 2015.

OSTROWER, Fayga [sobre intuição, criação e beleza] Depoimento não incluído no documentário *Janela da Alma*, de JARDIM, João; CARVALHO, Walter, 2001. Disponível em: <www.youtube.com/watch?v=M4p0ORnW12E> Acesso em: 8 de junho de 2015.

VIEIRA, Jorge de Albuquerque. [Sobre arte, ciência e *Umwelt*]. Palestra no Planetário do Rio de Janeiro. Disponível em: <www.youtube.com/watch?v=V0wU5wr2INo> Acesso em: 8 de junho de 2015.

SITES

ATLAS MNEMOSYNE – <<https://warburg.library.cornell.edu/about>>

THE CALTECH ARCHIVES – <<http://archives.caltech.edu>>

THE ROYAL INSTITUTION – <<http://www.rigb.org>>

THE ROYAL SOCIETY – <<http://royalsocietypublishing.org>>

OBRAS DE REFERÊNCIA ESPECIALIZADA

IMPRESSAS

CARUSO, Francisco; OGURI, Vitor. *Física Moderna – origens clássicas e fundamentos quânticos*. Rio de Janeiro: Elsevier, 2006.

COOPER, David. *A Companion to aesthetics*. Oxford: Blackwell Publishers, 1995.

DANCY, Johathan; SOSA, Ernest. (Ed). *A Companion to epistemology*. Oxford: Blackwell Publishers, 1992.

DICIONÁRIO DE BIOGRAFIAS CIENTÍFICAS (DSB). Charles C. Gillispie (Ed.). Rio de Janeiro: Editora Contraponto, 2007.

GODDARD, Jolyon. *A Concise history of science & invention – an illustrated timeline*. Washington, DC: National Geographic Society, 2010.

NEWTON-SMITH, W. H. *A Companion to the philosophy of science*. Blackwell Companions to Philosophy. Oxford: Blackwell Publishers, 2000.

OCVIRK, Otto G.; STINGSON, Robert E. et al. *Fundamentos de arte – teoria e prática*. Porto Alegre: McGraw Hill Education/Bookman, 2014.

WILLIAMS, Terry (Ed). *Biographical dictionary of scientists*. Glasgow: Harper Collins, 1994.

APÊNDICE

BREVE CRONOLOGIA DA HISTÓRIA DA FÍSICA MODERNA

A começar pelos estudos do Eletromagnetismo que são consolidados através da formulação das equações de Maxwell, continuando com as especulações e descobertas sobre o átomo, a radioatividade, a proposição de um novo espaço físico, as implicações inerentes ao comportamento da matéria, estes e outros serão tópicos abordados, nesta resumida cronologia.

Século XIX

1865 – Equações de James C. Maxwell, físico que mostrou que a luz é um fenômeno eletromagnético, ideia já aventada por vários cientistas anteriores, inclusive Michael Faraday. Elaborou um conjunto de equações que descrevem como tanto os campos elétrico e magnético são gerados por correntes e influenciam uns aos outros. As equações expressam os estudos empíricos de diversos cientistas de sua época (Faraday, Coulomb, Gauss, Ampère, entre outros), na Eletricidade e no Magnetismo, formando a base de um novo campo de estudo da Física, o Eletromagnetismo.

1887 – Descoberta das ondas eletromagnéticas, previstas teoricamente por Maxwell, pelo cientista alemão Heinrich Rudolf Hertz.

1897 – Descoberta do elétron, observado nos raios catódicos estudados por J.J. Thomson, foi inicialmente denominado “corpúsculo elétrico”, a fim de se distinguir da noção, até então predominante, de que o elétron seria um tipo de onda eletromagnética, como os Raios-X. Essa descoberta abre caminho para estudos sobre o átomo e marca o início da base experimental da Mecânica Quântica (ramo da Física que estuda a natureza em escalas de energias de átomos e partículas subatômicas).

1898 – Marie Curie, trabalhando na radiação dos elementos químicos, descobre o Polônio, o Rádio e cunha o termo “Radioatividade”.

1900 – Vários físicos queriam chegar à uma solução para a questão denominada “Problema do Corpo Negro” – fenômeno em que corpos emitem a mesma quantidade de energia que

absorvem, já observado pelos engenheiros nos fornos de industriais. Max Planck (1858-1947) tenta propor uma explicação teórica e matemática para esta questão. Com tal objetivo, introduz uma constante h ; que segundo ele, tratava-se de uma questão puramente formal, que conformava a teoria ao experimento. Com seus cálculos, ele percebe que a emissão da energia eletromagnética se dá em pacotes mínimos que denomina *quantum*. Além de conseguir explicar o fenômeno pela equação $E=h\nu$, o parâmetro h revelou-se posteriormente a constante fundamental da Mecânica Quântica.

Século XX

1905 – Publicação da Teoria da Relatividade Restrita (TRR), de Albert Einstein, que revoluciona nosso conhecimento sobre o espaço, até então seguindo as proposições Newtonianas de espaço absoluto, trazendo a noção do Contínuo Quadridimensional Espaço-Tempo. Neste mesmo ano, Einstein fez outras contribuições fundamentais para a Física: em seu trabalho sobre o Movimento Browniano, forneceu evidências para a aceitação definitiva da natureza atômico-molecular da matéria, utilizando-se dos instrumentos fornecidos pela Física Estatística. Também coube a ele dar o passo decisivo para a concepção quântica da radiação através da solução da questão do efeito fotoelétrico. Ele propõe que a radiação eletromagnética só existe e se propaga na forma de *quanta* e virá a ser chamado fóton por Arthur Compton, em 1928. Einstein postula que toda a energia no universo só pode existir em quantidades discretas (inteiras) de $h\nu$ (o mesmo de Planck) e com esta contribuição ganhou o Nobel de Física de 1921. Em razão disso, este ano é considerado o *Annus Mirabilis* de Einstein.

1911 – A descoberta do núcleo atômico por Ernest Rutherford, através do experimento de bombardeamento da folha de ouro por radiação α , deu margem à proposição de diversos modelos atômicos e, conseqüentemente, ao início da Física Nuclear.

1913 – O modelo atômico de Niels Bohr propôs que os elétrons se distribuíam em camadas de diferentes estados de energia, quantizados pelo momento angular da órbita do elétron em torno do núcleo. Nesse modelo, os elétrons saltam de uma órbita para outra de acordo com a perda ou o ganho de fótons.

1915 – A Teoria da Relatividade Geral (TRG) de Einstein propõe uma descrição da gravidade como propriedade geométrica do contínuo espaço-tempo, prevendo uma curvatura do espaço de acordo com a energia e o *momentum* da matéria.

1916 – Previsão da existência de ondas gravitacionais por Albert Einstein.

1917 – O célebre trabalho de Einstein, *Cosmological considerations in the General Theory of Relativity*, marca o nascimento da Cosmologia como uma nova teoria da Física.

1919 – Descoberta do próton por Ernest Rutherford.

1919 – Teoria da Relatividade Geral (TRG) de Einstein comprovada por observação experimental de um eclipse, em duas expedições (uma na Ilha de São Tomé e Príncipe e a outra em Sobral, no Ceará); uma delas liderada por Sir Arthur Eddington.

1923 – Arthur Compton publica seu artigo sobre o chamado “Espalhamento Compton”, confirmando a natureza corpuscular da radiação, o que assinala a descoberta do fóton como uma partícula elementar, ao lado do elétron e do próton (este ainda pensado como partícula fundamental).

1924 – Louis de Broglie propõe a hipótese da “Natureza Dual da Matéria”, ou seja, que, sob condições específicas, os “corpúsculos” e a matéria em geral, como os elétrons, mostrariam comportamentos e propriedades compatíveis com estados de onda ou de partícula.

1925 – Proposta de um novo atributo físico para o elétron: o *spin*. A concepção de que, além da massa e da carga elétrica fundamental, o elétron tivesse um novo atributo quântico foi feita por Samuel Abraham Goudsmit e George Eugene Uhlenbeck. Com a introdução do *spin* do elétron, ficou compreendida a chamada “estrutura hiperfina” das linhas espectrais atômicas.

1925 – Werner Heisenberg publica a sua Mecânica (Quântica) Matricial.

1926 – Maio: a tese de doutorado de Paul Adrien Maurice Dirac, *On Quantum Mechanics*, formula a Mecânica Quântica como uma nova teoria física.

1926 – Dezembro: Erwin Schrödinger publica o artigo da formulação ondulatória da Mecânica Quântica, a partir do qual se estabelece a celebrada Equação de Schrödinger.

1927 – Niels Bohr apresenta ao público seu Princípio da Complementaridade, no qual postula que a natureza dual da matéria e suas manifestações como onda e partícula são complementares uma à outra. Quando visto como uma proposição metodológica, este

princípio compreende que a experiência quântica deve ser estudada e entendida em seu conjunto.¹⁵⁶

1927 – O Princípio da Incerteza de Werner Heisenberg é uma proposição teórica decorrente da característica dual da matéria de De Broglie e assevera que é impossível determinar simultaneamente a posição e o *momentum* de uma partícula com precisão maior que h (a constante de Planck já citada).

1927 – Apresentação da quantização do campo eletromagnético em artigo publicado por Paul Dirac, assinalando o início das Teorias Quânticas de Campos e as bases para a formulação da Eletrodinâmica Quântica (QED).

1927 – O experimento físico de Davisson-Germer (Clinton Davisson e Lester Germer) confirma a hipótese de Louis de Broglie sobre a natureza dual da matéria a partir da descoberta da difração dos elétrons. Com ele, comprovam-se também os princípios formulados por Niels Bohr e Werner Heisenberg.

1927 – Wolfgang Pauli, utilizando a Equação de Schrödinger, introduz o grau de liberdade de spin na descrição da dinâmica do elétron em presença de um campo eletromagnético externo; surge, assim, a Equação de Pauli.

1928 – Em janeiro e fevereiro, Dirac publica dois trabalhos nos quais unifica a Mecânica Quântica e a Relatividade Especial, conseguindo compatibilizar o *spin* do elétron com os princípios da Relatividade Especial. Estes artigos intitulam-se *The Quantum Theory of the Electron* e foram apresentados em duas partes. A Equação de Pauli é naturalmente obtida a partir da Equação de Dirac, considerando-se o chamado “limite fracamente relativístico”.

1929 – Paul Dirac publica um artigo fundamental, no qual introduz e discute as propriedades do “vácuo quântico” intitulado *A Theory of Electrons and Protons*. Nele Dirac já discute a possibilidade de o elétron e o próton serem anti partícula um do outro.

1930 – Paul Dirac publica um artigo clássico, “*The Proton*”, na Nature.

1930 – Wolfgang Pauli propõe, em uma carta a um amigo, a existência de uma nova categoria de partículas elementares, os neutrinos, que deveriam acompanhar o próton e o elétron

¹⁵⁶ HOLTON (1984).

resultantes do decaimento-beta nuclear. A primeira geração de neutrinos só viria a ser descoberta em 1956.

1931 – Reconsiderando as ideias de seus trabalhos anteriores (1928, 1929 e 1930) sobre a carga fundamental e o *spin* do elétron e do próton, Dirac publica o seu célebre artigo do mesmo ano, *Quantised singularities in the electromagnetic field*, no qual apresenta três resultados de fundamental importância. Ele elucida a questão da carga elétrica ser quantizada e prevê a existência de novas formas de matéria: o monopólio magnético e as anti partículas do elétron (o pósitron) e do próton (o anti próton). Por este trabalho, recebe o Nobel de Física de 1933 (que divide com Erwin Schrödinger).

1932 – John Cockcroft e Ernest Walton realizam um teste experimental e comprovam a relação entre massa e energia da Relatividade Especial, $E = mc^2$.

1932 – Carl Anderson observa experimentalmente o pósitron previsto por Dirac.

1932 – James Chadwick descobre o nêutron, a partícula do núcleo atômico isenta de carga elétrica, o que lhe rendeu o Nobel de Física em 1935.

1933 – Enrico Fermi concebe a ideia de que o decaimento-beta do nêutron seja a evidência de uma nova interação fundamental, a chamada interação nuclear fraca. Lança, então, o trabalho *Tentativo di una Teoria dei Raggi-Beta*, recusado pela revista Science, mas publicado no periódico italiano *Ricerca Scientifica*. Leo Szilard faz a proposição da reação nuclear em cadeia e patenteia o reator nuclear junto com Fermi.

1934 – Heisenberg e seu estudante Hans Heinrich Euler publicam um importante trabalho, *Consequences of the Dirac Theory of the Positron*, no qual apresentam os cálculos de propriedades físicas do vácuo quântico e mostram como efeitos quânticos geram efeitos chamados “não lineares” no fenômeno eletromagnético.

1935 – Hideki Yukawa publica o seu trabalho *On the interaction of elementary particles*, no qual prevê a existência dos píons, partículas subnucleares detectadas experimentalmente 13 anos depois (em 1948).

1935 – Dois *Gedankenexperimenten* são propostos contra a Mecânica Quântica, o Paradoxo do EPR (Einstein – Podolsky – Rosen) e o “experimento do gato” de Erwin Schrödinger

Ambos acabaram por comprovar corretamente a teoria quântica, sendo que o Paradoxo do EPR teve diversos aparatos experimentais construídos.

1936 – Carl D. Anderson (que havia detectado o pósitron) e Seth Neddermayer descobrem uma nova partícula elementar, o múon, considerada uma segunda família de elétrons.

1938 – Em um célebre workshop realizado em Varsóvia, em setembro de 1938, intitulado *New theories in Physics*, Oscar Klein apresenta o trabalho *On the Theory of Charged Fields*, no qual lança a semente de uma possível “Teoria do Tudo” (*Theory of Everything*). Ele propõe uma descrição unificada para as quatro interações fundamentais envolvendo todas as partículas conhecidas até então: o elétron e o pósitron, o próton e o anti próton (este ainda não detectado), o fóton, os neutrinos (ainda não detectados), o nêutron, os píons previstos por Yukawa e os múons recém detectados.

1939 – Paul Dirac publica o seu clássico trabalho sobre a relação entre a Matemática e a Física, no qual propõe que a Matemática deva ser pensada legitimamente como um instrumento de observação da Natureza. Este trabalho é fundamental para toda uma geração posterior de físicos que vem a trabalhar em questões que culminaram com a elaboração do Modelo Padrão da Física de Partículas.

1939 – Início da WWII. Fuga de cientistas judeus da Europa para outros países. Lise Meitner em exílio e Otto Hahn na Alemanha realizam a primeira fissão nuclear do urânio ao receber um nêutron extra. Início da corrida pela construção da bomba nuclear.

1942 – Experimentos com a fissão atômica em cadeia de forma controlada (reação nuclear lenta) por Szilard em Chicago.

1947 – Descoberta dos píons (múon Π) carregados (previstos em 1935) por Giuseppe Occhialini, Cesar Lattes e Cecil Powell.

1948 – Usando a Eletrodinâmica Quântica, ainda em processo de formulação, Julian Schwinger fornece o resultado para o magnetismo do elétron (o seu momento de dipolo magnético), incluindo efeitos que a Equação de Dirac não contempla.

1949 – Constituição da Eletrodinâmica Quântica (QED) por Sin-Itiro Tomonaga, Julian Schwinger e Richard Feynman.

1954 – Fundação do CERN

1954 – Formulação das Teorias de Yang-Mills-Shaw, formulação de base das teorias unificadas.

1956 – Conferência Internacional de Física de Partículas de Seattle, onde Cheng-Ning Yang e Tsung-Dao Lee apresentam o impactante trabalho que mostra a violação da simetria de paridade nas interações nucleares fracas.

1956 – Detecção do neutrino do elétron (hipótese de Pauli em 1930) por Clyde Cowan e Frederick Reines.

1956 – Inspirado nos resultados apresentados por Lee e Yang na Conferência de Seattle, Abdus Salam introduz o conceito de simetria quiral, em conexão com a Equação de Dirac, como justificativa teórica para a ausência de massa do neutrino (neste período, ainda não se considerava que o neutrino fosse uma partícula com massa). A simetria quiral aparece em associação a uma categoria de transformações que não alteram a Equação de Dirac e só se revela para os neutrinos, devido ao fato de não possuírem massa. Salam observou que a simetria quiral se mostrava fundamental para a validação teórica das teorias de Yang-Mills. De fato, atualmente a ideia vigente é que a matéria do Universo primordial fosse uma matéria quiral e a perda da quiralidade (o elétron d quiral) provem da interação desta matéria primordial com o bóson de Higgs.

1957 – O experimento da física chinesa Chien-Shiung Wu detecta a violação da simetria de paridade nas interações nucleares fracas, confirmando a previsão teórica de Lee-Yang.

1957 – Julian Schwinger publica o trabalho *A Theory of the fundamental interactions*, um marco para a construção de teorias unificadas das interações fundamentais.

1960 – Yochiro Nambu lança o trabalho *A Superconductor model of elementary particles and its consequences*, trabalho seminal para os desenvolvimentos posteriores ligados ao campo e ao bóson de Higgs.

1961 – Sheldon Glashow publica o artigo *Partial-Symmetries of weak interactions*, trabalho que está na base da formulação da Teoria Eletrofraca.

1963 – Paul Dirac publica um artigo sobre as representações do grupo de anti-de Sitter, trabalho que virá a inspirar a construção dos modelos de préons (estruturas ainda mais fundamentais do que os elétrons e neutrinos) nos anos 1970 e, posteriormente, a chamada “conjectura AdS/CFT” proposta por Juan Maldacena em 1997. Este artigo de Dirac oferece caminhos para se construir a chamada nova Física além do Modelo-Padrão.

1964 – Abdus Salam e John Ward publicam o trabalho *Electromagnetic and weak interactions*, já apontando para uma descrição unificada destas duas interações.

1964 – James Cronin e Val Fitch descobrem, experimentalmente, a violação da simetria sob reversão temporal (simetria-T) nas interações fracas. Este resultado era completamente inesperado, mas se revelou possível nas interações fracas. Este trabalho irá se revelar, posteriormente, definidor para estudos teóricos que levarão à previsão de uma Terceira família de *quarks*.

1964 – Peter Higgs e, independentemente, Robert Brout e François Englert propõem um mecanismo, hoje conhecido como Mecanismo de Higgs, a partir do qual emerge o bóson de Higgs e que é elemento-chave para se conseguir unificar (através de uma teoria física) a origem comum da interação eletromagnética e da interação nuclear fraca.

1967 – Steven Weinberg publica o trabalho *A Model of leptons*, que, juntamente com o artigo de Glashow de 1961 (acima citado) e o trabalho de Abdus Salam de 1968 (vide abaixo), levará estes 3 autores a receberem o Nobel de 1979.

1968 – Abdus Salam publica o trabalho *Weak and electromagnetic interactions*, que completa o processo de construção da Teoria Eletrofraca ou Teoria de Salam-Glashow-Weinberg.

1969 – É realizado no Stanford Linear Accelerator Center - SLAC (Universidade de Stanford) o experimento conhecido como “Deep Inelastic Scattering”, que revela indiretamente a existência dos *quarks* (previstos por Gell-Mann e Zveig) assim como um novo comportamento da matéria em sua forma mais elementar: a liberdade assintótica. Até então, nenhuma teoria da Física apresentava esta peculiar propriedade: os *quarks*, quanto mais próximos uns dos outros, mais livres de interação ficam.

1973 – David Gross com Frank Wilczek e, independentemente, H. David Politzer formulam uma nova teoria física, a Cromodinâmica Quântica (QCD), capaz de uma descrição teórica bem-sucedida da propriedade de liberdade assintótica dos *quarks*.

1973 – Makoto Kobayashi e Toshihide Maskawa incorporam à Teoria Eletrofraca o resultado experimental de Cronin e Fitch (violação de CP nas interações fracas) e, com base em argumentos de simetria, preveem a existência de uma terceira família de *quarks*, os *quarks bottom* e *top*, posteriormente revelados nos aceleradores.

1973 – Com os trabalhos de Salam-Glashow-Weinberg sobre a unificação eletrofraca e os artigos de Gross-Wilczek-Politzer que estabelecem a QCD, fica constituído o “Modelo Padrão da Física de Partículas”.

1973 – Na ex-União Soviética, V. Akulov e D. Volkov e, independentemente na Europa, B. Zumino e J. Wess, lançam uma nova simetria de natureza espaço-temporal, a Supersimetria, que atua diretamente na dicotomia férmions-bósons e revela uma categoria de novas coordenadas que se adicionam às coordenadas do espaço-tempo. A Supersimetria tem como imediata consequência a chamada Supergravidade, que recupera a descrição da Relatividade Geral incorporando novas categorias de simetrias e de partículas à pré-existente formulação Einsteiniana.

1974 – Jogesh Pati e Abdus Salam lançam um trabalho que é a base para o programa de unificação das forças fundamentais da Natureza, possibilitando compreender a origem das interações descritas no Modelo Padrão a partir de uma formulação mais elementar. Em seguida, no mesmo ano, Howard Georgi e Sheldon Glashow publicam a chamada Teoria Grande-Unificada SU(5). Abre-se, a partir destes trabalhos, a chamada era da unificação dos campos de força associados às interações entre as partículas verdadeiramente elementares. A partir de 1974, o paradigma da unificação passa a dominar a Física Teórica de Altas Energias, estimulando a construção de novos aceleradores de partículas para se testar a física que emerge destes modelos unificados.

1984 a 1994 – Supercordas, a primeira revolução: um avanço nos programas para se formular uma descrição quântica da interação gravitacional e incorporar esta última em uma descrição quântica unificada com as interações do Modelo Padrão da Física de Partículas.

1994 – Supercordas, a segunda revolução: Edward Witten elabora evidências de que as cinco diferentes teorias de supercordas até então formuladas devem ser originadas de uma teoria única, mais fundamental, denominada Teoria-M.

Século XXI

2009 – Início dos experimentos do Large Hadron Collider (LHC) no CERN, no qual há hoje sete diferentes Colorações, com o objetivo de se descobrir o bóson de Higgs e formas exóticas de matéria, compreender a origem da massa das partículas, estudar o comportamento da matéria a altas densidades e temperaturas e detectar possíveis evidências para o que se chama de Nova Física além do Modelo-Padrão, dentro da qual se enquadra, por exemplo, a comprovação da Supersimetria.

2012 – Anúncio oficial da descoberta do bóson de Higs.

2016 – Detecção de ondas gravitacionais pela colaboração do Observatório de Ondas Gravitacionais por Interferômetro Laser (LIGO), produzidas a partir da fusão de buracos negros. Realiza-se, com esta observação, a previsão feita há exatos 100 anos atrás.

2017 – Novas detecções de ondas gravitacionais pelas colaborações LIGO e VIRGO (tal como o LIGO é um interferômetro, porém instalado na Itália, próximo à Pisa, denominado VIRGO em referência à constelação de Virgem).

ANEXO

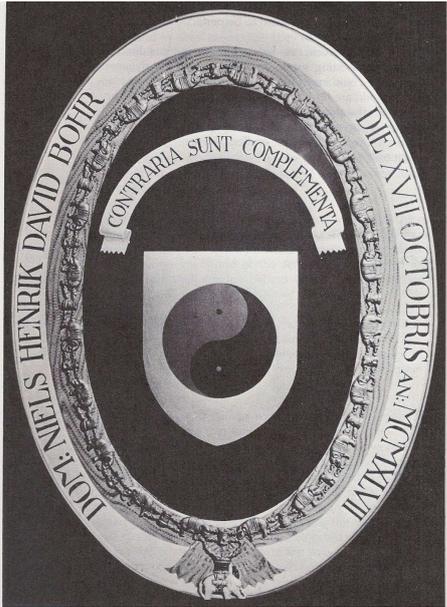


Imagem 1 – Insignia de Niels Bohr



Imagem 2 – pranchas do Atlas Mnemosite de Aby Warburg

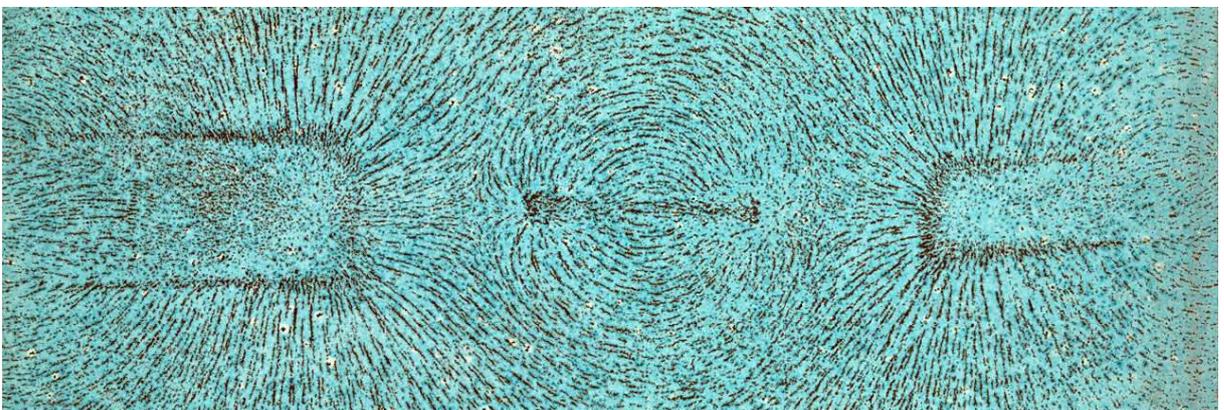


Imagem 3 – linhas de força entre polos magnéticos – desenho em limalha de ferro

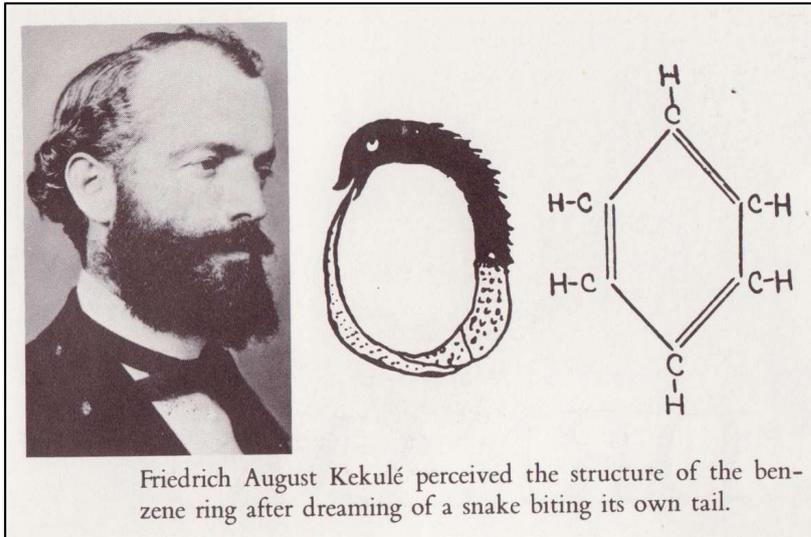


Imagem 4 – o sonho de Kekulé

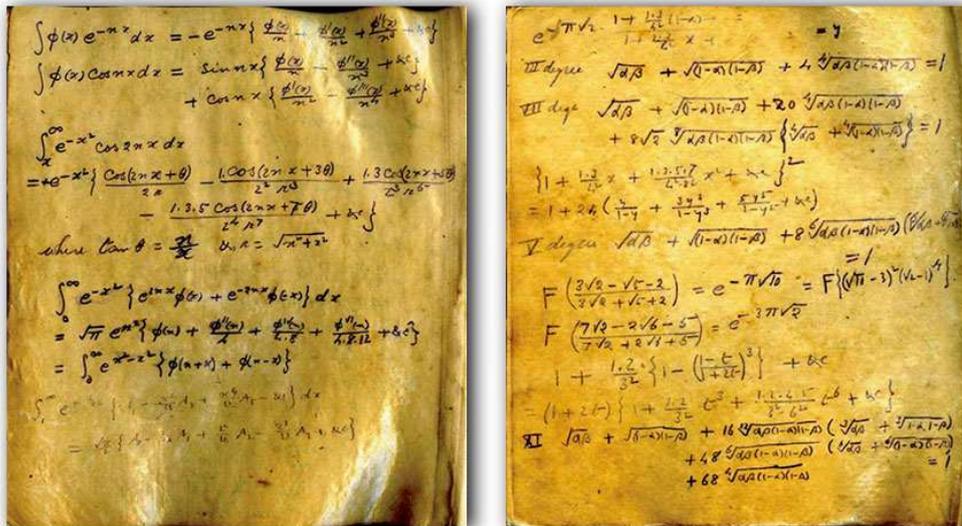


Imagem 5 – caderno com anotações de Srinivasa Ramanujan



Imagem 6 – eclipse em Sobral - montagem artística a partir das fotos originais



Imagem 7 – placa original da fotografia do eclipse de Sobral

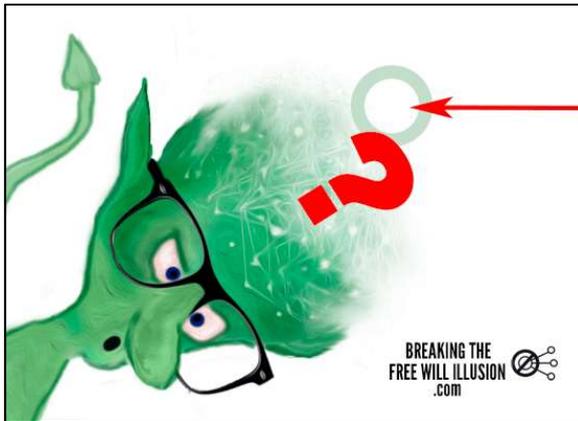


Imagem 8 – O daemon de Laplace (ilustração)



Imagem 9 – Putti

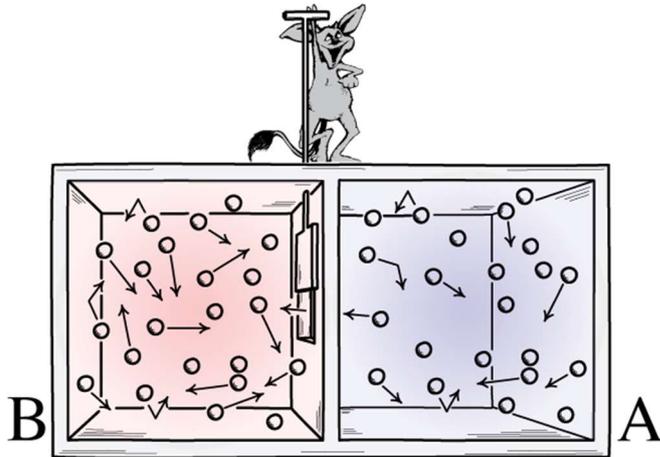


Imagem 10 – daemon de Maxwell

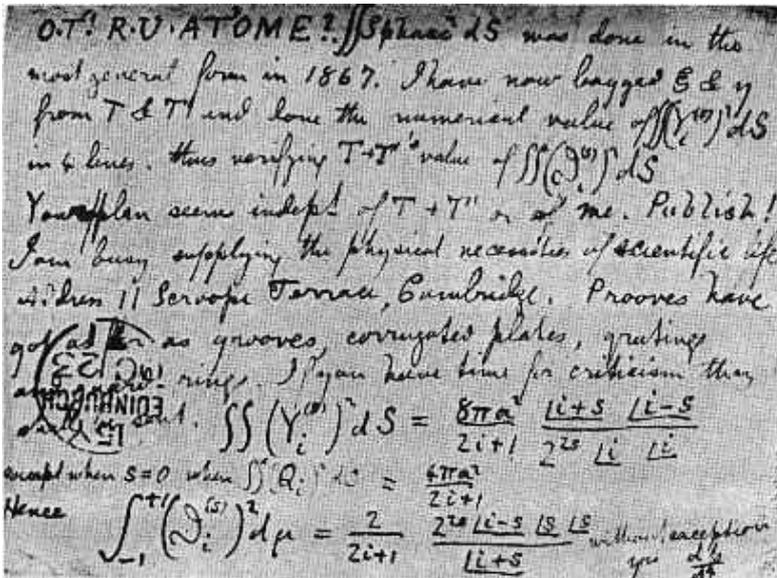


Imagem 11 – caderno de anotações de James C. Maxwell

$$\nabla \cdot \mathbf{E} = \frac{\rho_v}{\epsilon} \quad (\text{Gauss' Law})$$

$$\nabla \cdot \mathbf{H} = 0 \quad (\text{Gauss' Law for Magnetism})$$

$$\nabla \times \mathbf{E} = -\mu \frac{\partial \mathbf{H}}{\partial t} \quad (\text{Faraday's Law})$$

$$\nabla \times \mathbf{H} = \mathbf{J} + \epsilon \frac{\partial \mathbf{E}}{\partial t} \quad (\text{Ampere's Law})$$

Imagem 12 – equações de Maxwell em notação diferencial

1. $\oint \mathbf{E} \cdot d\mathbf{A} = \frac{q_{enc}}{\epsilon_0}$
2. $\oint \mathbf{B} \cdot d\mathbf{A} = 0$
3. $\oint \mathbf{E} \cdot d\mathbf{s} = -\frac{d\Phi_B}{dt}$
4. $\oint \mathbf{B} \cdot d\mathbf{s} = \mu_0 \epsilon_0 \frac{d\Phi_E}{dt} + \mu_0 i_{enc}$

Imagem 13 - equações de Maxwell em notação integral

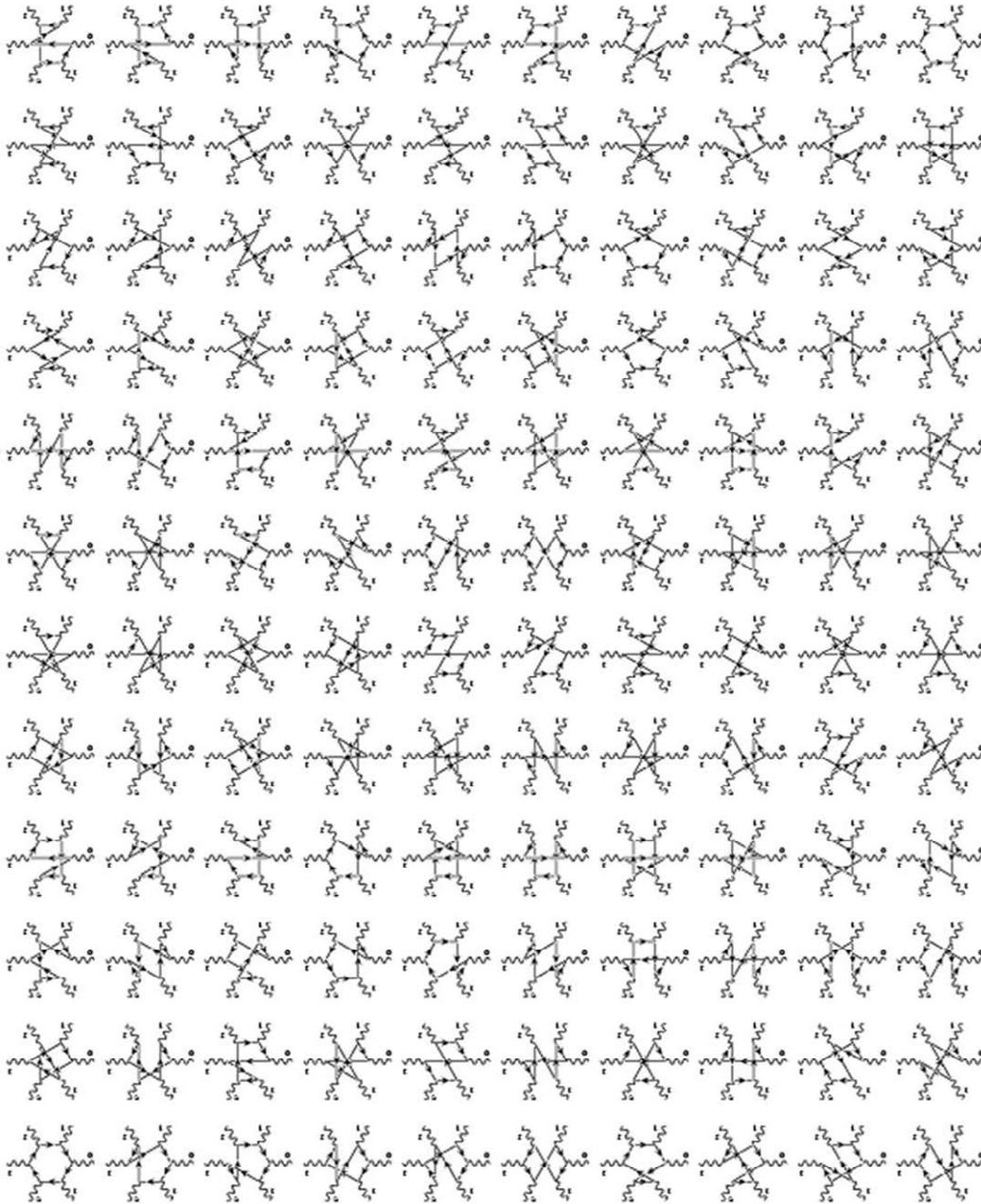


Imagem 14 – diagramas de Feynmann

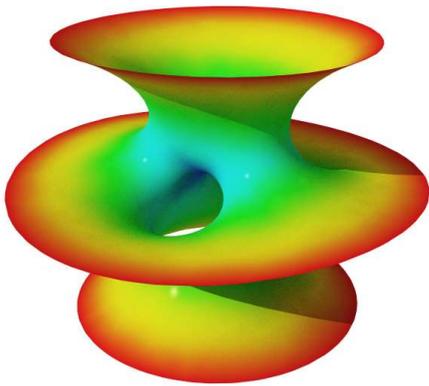


Imagem 15 – Superfície Costa

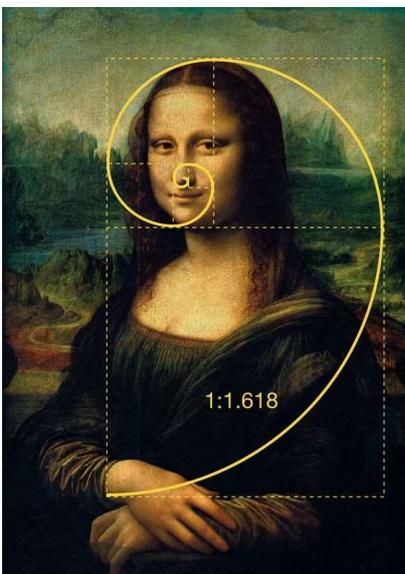
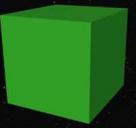
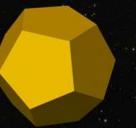
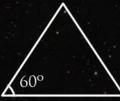


Imagem 16 – razão áurea e o número phi

PLATONIC SOLIDS

TETRAHEDRON FIRE	OCTAHEDRON AIR	HEXAHEDRON EARTH	ICOSAHEDRON WATER	DODECAHEDRON AETHER
				
4 FACES 4 POINTS 6 EDGES	8 FACES 6 POINTS 12 EDGES	6 FACES 8 POINTS 12 EDGES	20 FACES 12 POINTS 30 EDGES	12 FACES 20 POINTS 30 EDGES
				
180° x 4	180° x 8	360° x 6	180° x 20	540° x 12
720° DEGREES	1440° DEGREES	2160° DEGREES	3600° DEGREES	6480° DEGREES

√ϕΣDUBS

Imagem 17 – figuras e sólidos platônicos



Imagem 18 – o grotesco representado por Da Vinci

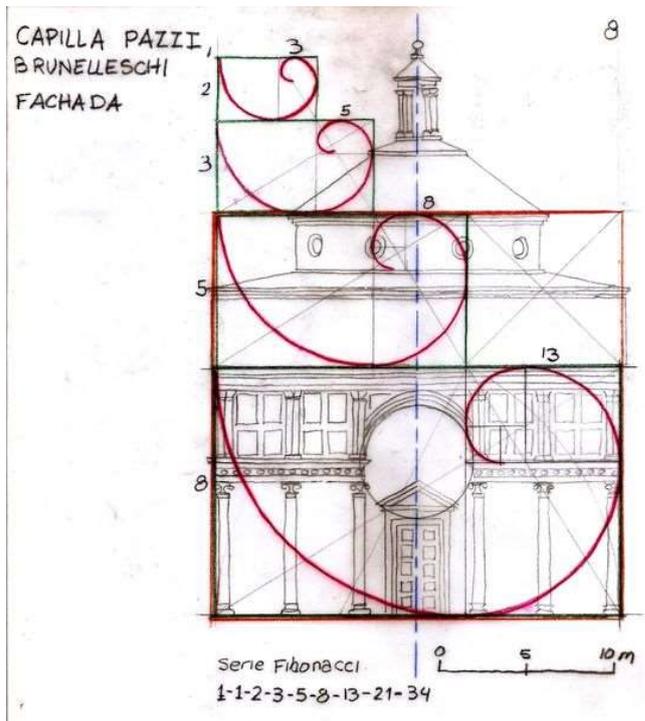


Imagem 19 – Brunelleschi, a perspectiva e a razão áurea.

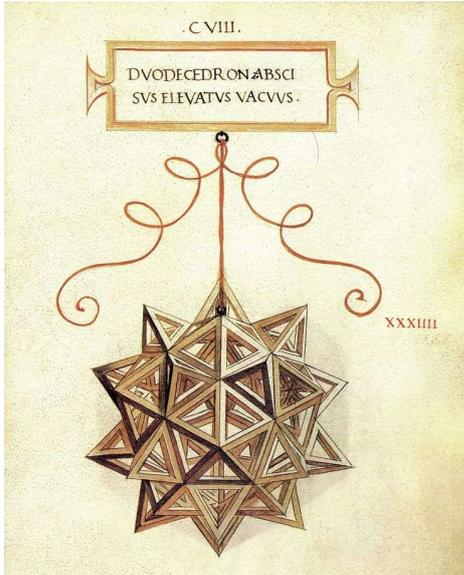


Imagem 20 – Duodecaedro representado por Da Vinci em Da Divina Proporçione de Luca Pacioli

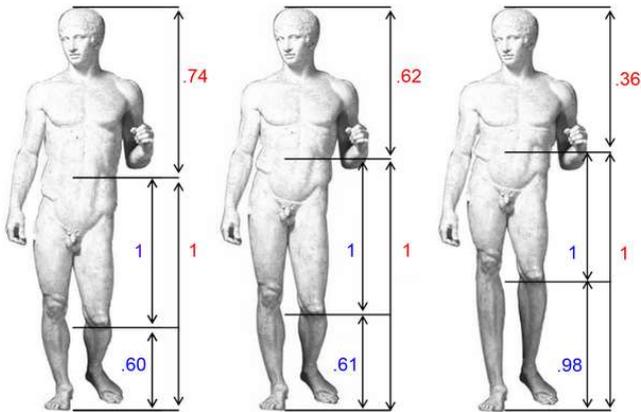


Imagem 21 – os cânones variam. Ao centro, a razão áurea



Imagem 22 – prancha de anatomia de Vesalius de Bruxelas.



Imagem 26 – Kepler: cinemática celeste

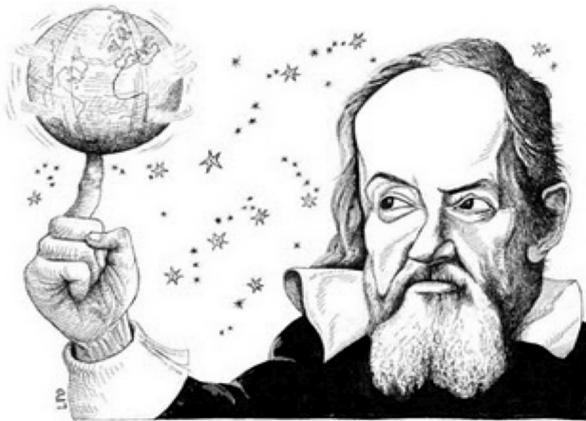


Imagem 27 – Galileo: cinemática terrestre

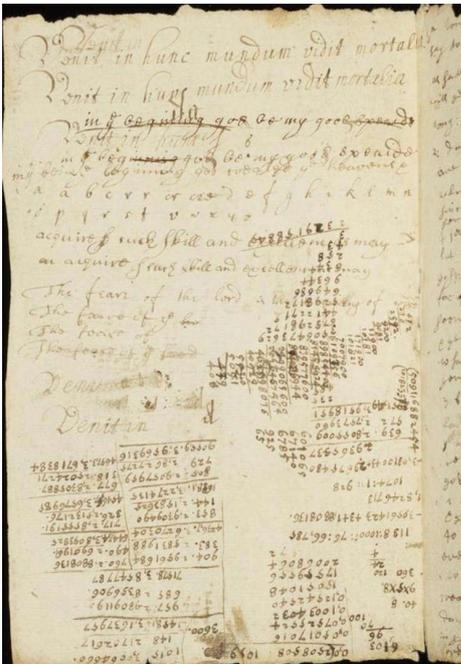


Imagem 28 – Isaac Newton: caderno de anotações

Second derivative with respect to X

Shrodinger Wave Function

$$\frac{\partial^2 \psi}{\partial X^2} + \frac{8\pi^2 m}{h^2} (E - V) \psi = 0$$

Position

Energy

Potential Energy

Imagem 29 – Equação de Schrödinger

mass →	≈2.3 MeV/c ²	≈1.275 GeV/c ²	≈173.07 GeV/c ²	0	≈126 GeV/c ²
charge →	2/3	2/3	2/3	0	0
spin →	1/2	1/2	1/2	1	0
	u up	c charm	t top	g gluon	H Higgs boson
QUARKS	≈4.8 MeV/c ²	≈95 MeV/c ²	≈4.18 GeV/c ²	0	
	-1/3	-1/3	-1/3	0	
	1/2	1/2	1/2	1	
	d down	s strange	b bottom	γ photon	
	0.511 MeV/c ²	105.7 MeV/c ²	1.777 GeV/c ²	91.2 GeV/c ²	
	-1	-1	-1	0	
	1/2	1/2	1/2	1	
	e electron	μ muon	τ tau	Z Z boson	
LEPTONS	<2.2 eV/c ²	<0.17 MeV/c ²	<15.5 MeV/c ²	80.4 GeV/c ²	
	0	0	0	±1	
	1/2	1/2	1/2	1	
	ν_e electron neutrino	ν_μ muon neutrino	ν_τ tau neutrino	W W boson	
					GAUGE BOSONS

Imagem 30 – Murray Gell-Mann: classificação das partículas elementares

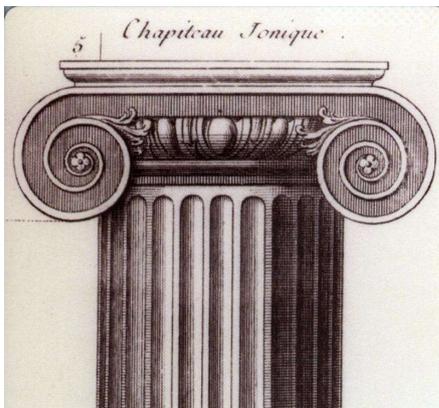


Imagem 31 – simetria bilateral: capitel jônico



Imagem 32 – simetrias translatórias e rotacionais: nós celtas

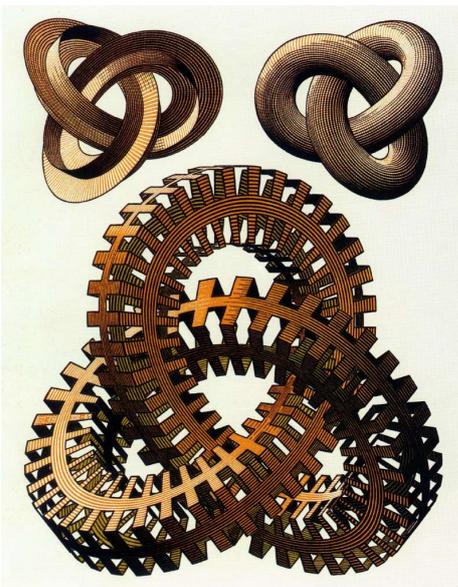


Imagem 33 – simetria rotacional: Knots, M. C. Escher



Imagem 34 – simetria ornamental: porta árabes

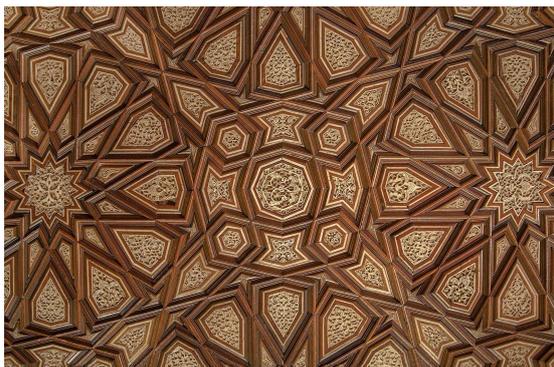


Imagem 35 – simetria ornamental: porta árabe

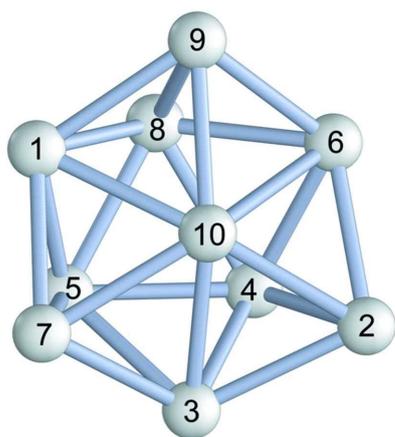


Imagem 36 – simetria cristalográfica



Imagem 37 – assimetria histórica: catedral de Chartres

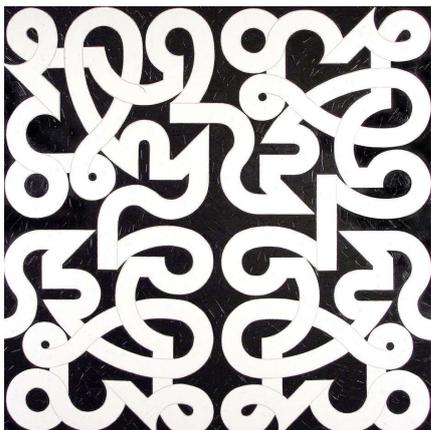


Imagem 38 – equilíbrio simétrico aproximado: Recursion, Valerie Jaudon

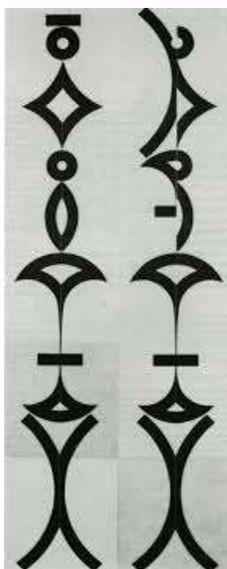


Imagem 39 – equilíbrio simétrico aproximado: corpo 2, Valerie Jaudon



Imagem 40 – equilíbrio simétrico aproximado: 100 latas, Andy Warhol



Imagem 41 – equilíbrio assimétrico: O casamento de Shiva e Parvati



Imagem 42 – equilíbrio assimétrico : Natividade, Sandro Botticelli

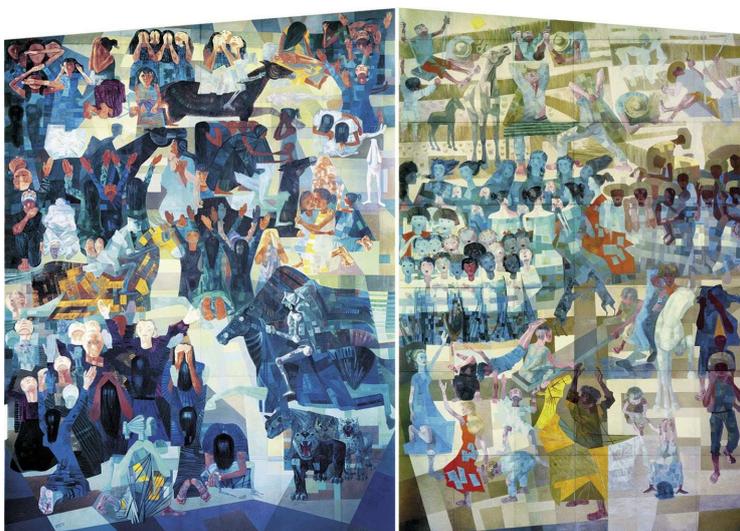


Imagem 43 – equilíbrio assimétrico: Guerra e Paz, Cândido Portinari



Imagem 44 – equilíbrio aproximado: Rainbow Picket, Judy Chicago



Imagem 45 – equilíbrio radial: Bird Blast, Fred Tomaselli



Imagem 46 – Fractal



Imagem 47 – Fractal: Brócoli

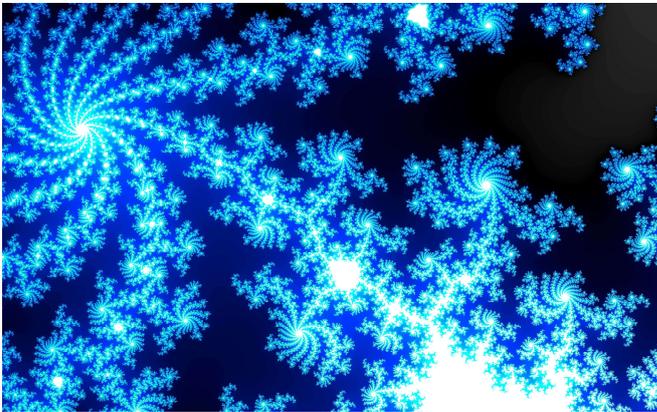


Imagem 48 - Fractal

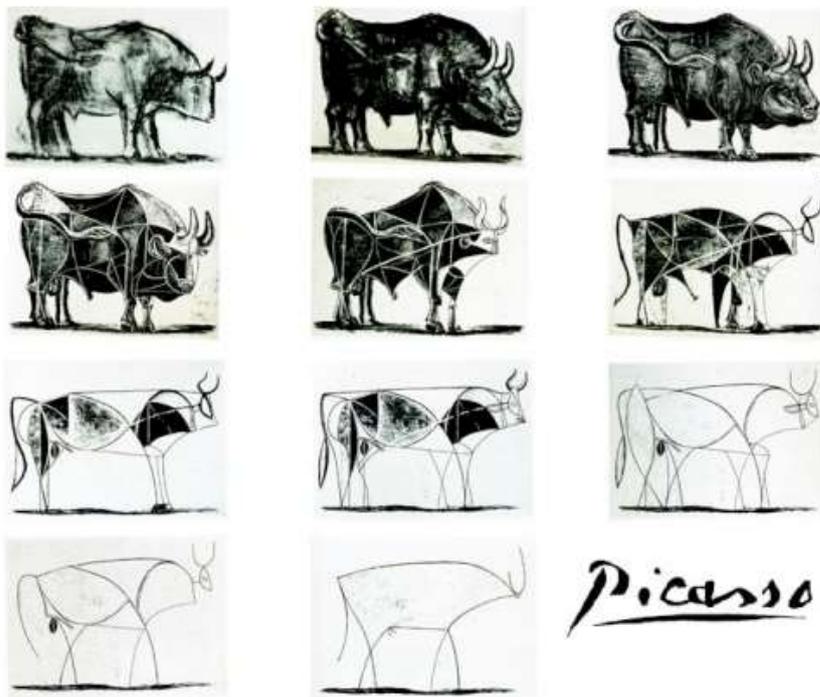


Imagem 49 – Concisão: Touros, Picasso