



**UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
INSTITUTO DE CIÊNCIAS HUMANAS
DEPARTAMENTO DE FILOSOFIA**

**O VALOR SEMPRE ATUAL DA ESCOLÁSTICA: CONSIDERAÇÕES NUMA
PERSPECTIVA ESCOLÁSTICO-TOMISTA SOBRE A NOÇÃO DE *FORÇA* EM
FÍSICA MODERNA E CONTEMPORÂNEA**

Luiz Fernando Karps Pasquotto

Brasília - DF

2022

REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA E CATALOGAÇÃO

PASQUOTTO, L.F.K. **O valor sempre atual da Escolástica: Considerações numa perspectiva escolástico-tomista sobre a noção de *força* em física moderna e contemporânea.** Orientador: André Leclerc. 2022. 76 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Filosofia - Licenciatura) – Departamento de Ciências Humanas, Universidade de Brasília, Brasília, 2022.

Documento formal, autorizando reprodução deste Trabalho de Conclusão de Curso para empréstimo ou comercialização, exclusivamente para fins acadêmicos, foi passado pela autora à Universidade de Brasília e acha-se arquivado na Biblioteca Digital da Produção Intelectual Discente da Universidade de Brasília. O autor reserva para si os outros direitos autorais, de publicação. Nenhuma parte deste Trabalho de Conclusão de Curso pode ser reproduzida sem a autorização por escrito do autor. Citações são estimuladas, desde que citada a fonte.

FICHA CATALOGRÁFICA

Luiz Fernando Karps Pasquotto

**O VALOR SEMPRE ATUAL DA ESCOLÁSTICA: CONSIDERAÇÕES NUMA
PERSPECTIVA ESCOLÁSTICO-TOMISTA SOBRE A NOÇÃO DE *FORÇA* EM
FÍSICA MODERNA E CONTEMPORÂNEA**

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado ao curso de graduação em
Filosofia como requisito parcial à obtenção
do Grau de Licenciado pela Universidade
de Brasília.

Orientador: Prof. Dr. André Leclerc

Brasília – DF

2022

TERMO DE APROVAÇÃO

Luiz Fernando Karps Pasquotto

O VALOR SEMPRE ATUAL DA ESCOLÁSTICA: CONSIDERAÇÕES NUMA PERSPECTIVA ESCOLÁSTICO-TOMISTA SOBRE A NOÇÃO DE *FORÇA* EM FÍSICA MODERNA E CONTEMPORÂNEA

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado ao Curso de Graduação em
Filosofia como requisito parcial à obtenção
do Grau de Licenciado pela Universidade
de Brasília.

Orientador: Prof. Dr. André Leclerc

Banca examinadora:

Prof. Orientador: Prof. Dr. André Leclerc (UnB/FIL-ICH)

Presidente da Banca

Prof. Dr. Agnaldo Cuoco Portugal (UnB/FIL-ICH)

Membro Interno

Aprovado em: 23 de fevereiro de 2023.

DEDICATÓRIA

*À sereníssima Mãe de Deus
e Rainha dos corações,
Nossa Senhora do Carmo,
para quem toda gratidão é
pouco.*

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar, agradeço a Deus e à sua Sabedoria, que sai da boca do Altíssimo, e que estende seu vigor de uma extremidade à outra de todo o universo e com força e suavidade governa o mundo inteiro: oh vinde ensinar-nos o caminho da prudência!

À Nossa Senhora, por quem nos é dada a graça de conhecer as coisas criadas em suas relações com Deus, do qual todas provêm e pelo qual todas são conservadas.

Aos meus pais, que me deram a vida e o amor pelos estudos.

A todos os que foram meus professores ao longo a vida, por terem cooperado, cada um na sua esfera e na sua medida, para que eu fosse formado com competência.

A todos aqueles que a Providência colocou em minha vida, para me ajudar ou para serem ajudados, porque foram fundamentais no crescimento da vida intelectual em mim: ou me ajudaram e aprendi deles, ou estudei para aprender e poder ajudá-los.

EPÍGRAFE

São insensatos por natureza todos os homens que ignoraram Deus, e que pelos bens visíveis não chegaram a conhecer Aquele que é, nem, considerando as obras, reconheceram o Artista. Pelo contrário, tomaram o fogo, ou o vento, ou o ar veloz, ou o círculo dos astros, ou a água impetuosa, ou os luzeiros dos céus, por deuses governadores do mundo. Se eles, encantados com a beleza de tais coisas, as julgaram deuses, reconheçam quanto é melhor do que elas o seu Senhor, porque foi o Autor da beleza que criou todas estas coisas. Ou, se eles se maravilharam do seu poder e força, entendam por elas que o que as fez é mais forte do que elas. Com efeito, pela grandeza e beleza das criaturas se pode, por analogia, chegar ao conhecimento do seu Criador.

Todavia estes homens são menos repreensíveis, porque, porventura, caem no erro buscando a Deus e desejando encontrá-lo. Ocupados no exame das suas obras, são seduzidos pelo seu aspecto, pois são belas as coisas visíveis. Mas, por outra parte, nem estes merecem desculpa, porque, se chegaram a ter luz bastante para poderem conhecer o universo, como não descobriram mais facilmente o Senhor dele?

Sabedoria 13, 1-9

RESUMO

O presente Trabalho de Conclusão de Curso trata, à luz da Escolástica, da natureza de uma das noções mais importantes e fundamentais da ciência dos últimos séculos: a noção de *força*. Tendo em vista que atualmente encontramos uma profunda lacuna na compreensão filosófica de conceitos fundamentais dos quais o cientista faz uso cotidiano, o presente trabalho tem como objetivos (i) discutir a noção de *força* em Física moderna e contemporânea, conforme as perspectivas da Escolástica juntamente com a herança aristotélica da qual ela é devedora, (ii) evidenciar caminhos que possam lançar uma luz mais adequada nas relações entre Filosofia Escolástica e ciência contemporânea, (iii) propor novos modos de ver muitas afirmações e juízos sobre a constituição e o funcionamento da matéria, tal como a Física atual pretende conhecê-los e (iv) evidenciar, ao tratar deste caso particular da filosofia da ciência, o valor sempre atual da Escolástica. Para a construção deste trabalho foi feita a seleção e a análise de textos pertencentes a filósofos pertencentes à Escolástica antiga e contemporânea e de textos produzidos por físicos, matemáticos e outros cientistas de notória competência.

Palavras-chave: 1. Filosofia da ciência; 2. Escolástica; 3. Tomismo; 4. Física moderna; 5. Física contemporânea; 6. Força.

ABSTRACT

This Course Completion Work deals, in the light of Scholasticism, with the nature of one of the most important and fundamental notions of science in recent centuries: the notion of *force*. Bearing in mind that we currently find a profound gap in the philosophical understanding of fundamental concepts which scientists make use of on a daily basis, the present work aims to (i) discuss the notion of *force* in modern and contemporary Physics, according to the perspectives of Scholasticism together with its Aristotelian heritage, (ii) highlight ways that can shed a more adequate light on the relationship between Scholastic Philosophy and contemporary science, (iii) propose new ways of seeing many statements and judgments about the constitution and functioning of matter, as current Physics intends to know them and (iv) to show, dealing with this particular case of the philosophy of science, the perennial value of Scholasticism. For the construction of this work, the selection and analysis of texts belonging to philosophers belonging to ancient and contemporary Scholasticism and texts produced by physicists, mathematicians and other scientists of notorious competence were made.

Keywords: 1. Philosophy of science; 2. Scholastic; 3. Thomism; 4. Modern physics; 5. Contemporary Physics; 6. Force.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1: Ilustração do modelo físico da alteração do movimento de um corpo pela ação de uma força sobre ele.

Figura 2: Percepções distintas do movimento de um corpo em um referencial inercial e em um referencial não inercial.

Figura 3: Representação das diferentes forças que agem sobre um corpo em movimento circular, para um observador não-inercial.

Figura 4: Tabela indicando as partículas fundamentais que compõem os átomos, permitem as interações entre eles e os fenômenos observados.

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

MRU – Movimento Retilíneo Uniforme

MQ – Mecânica Quântica

TRG – Teoria da Relatividade Geral

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO	14
CAPÍTULO 1 - EXPOSIÇÃO DOS TIPOS DE FORÇAS.....	16
1.1 Forças inerciais.....	17
1.2 Forças da natureza	21
1.2.1 Força gravitacional	22
1.2.2 Força eletromagnética.....	24
1.2.3 Forças nucleares forte e fraca	26
1.3 Forças de contato.....	27
CAPÍTULO 2 - REFLEXÕES SOBRE ESTAS FORÇAS SOB A LUZ DOS PRINCÍPIOS DA FILOSOFIA ESCOLÁSTICA DA NATUREZA	28
2.1 A Física moderna como uma matematização do mundo sensível	28
2.2 <i>Ens reale</i> e <i>ens rationis</i> na ciência física experimental	31
2.2.1 O ente real (<i>ens reale</i>).....	31
2.2.2 O ente de razão (<i>ens rationis</i>)	33
2.2.3 O emprego dos entes reais e de razão na Física atual	35
2.2.4 A noção de força em física matemática	40
2.3 Algumas considerações sobre partículas atômicas.....	45
2.3.1 Breve introdução	45
2.3.2 A reflexão da inteligência no estudo dos átomos	48
2.3.3. Breves considerações sobre realidade da força nuclear forte e da força eletromagnética.....	53
2.4 O princípio de causalidade foi colocado em xeque depois do surgimento da Mecânica Quântica?	56
2.4.2. Um caso específico de aparente invalidação do princípio de causalidade: o decaimento radioativo e a força nuclear fraca em particular	61
2.4.3. Causalidade à distância: o problema apresentado pela força da gravidade.....	68
CAPÍTULO 3 – CONCLUSÃO	72
REFERÊNCIAS	74

INTRODUÇÃO

O presente Trabalho de Conclusão de Curso trata da noção de *força* em física moderna e contemporânea sob uma reflexão filosófica à luz dos princípios da escolástica e do tomismo. A relevância desse estudo está no fato de procurar fazer uma análise propriamente filosófica, uma consideração por meio de reflexão, sobre qual seria a natureza própria daquilo que é denominado *força* em Física moderna e contemporânea, a partir dos princípios que estruturam a Física e a Metafísica de Aristóteles e que estão também entre os princípios fundamentais da escolástica medieval.

Atualmente, a atividade do cientista é, muitas vezes, mais próxima e semelhante a de um técnico do que a de um conhecedor da natureza das coisas e de suas causas. Obrigado a passar a maior parte do seu tempo assimilando e usando o vasto leque de informações produzidas e acumuladas no seu campo de atuação e pesquisa, ele tem pouca oportunidade de refletir sobre conceitos de princípios fundamentais dos quais faz uso cotidiano e de se dar conta de eventuais problemas relacionados ao seu uso.

Dentre estes conceitos absolutamente fundamentais em ciência está o conceito de *força*, que, apesar de estar entre os conceitos mais usados no conjunto das ciências naturais e experimentais, é objeto ainda hoje da ausência de uma análise de compreensão sólida quanto à sua natureza objetiva.

É importante ressaltar que toda ciência deve partir de uma compreensão adequada dos princípios que a governam, das noções de que faz uso. Do contrário, estará condenada a caminhar sem orientação precisa por entre conceitos nebulosos e raciocínios vagos, fazendo das afirmações dos mais diversos cientistas de uma área de estudos um amálgama sem contornos definidos, perpetuando confusões, que serão tão piores quanto menos advertidas forem, e traindo, enfim o propósito mesmo de uma disciplina científica, que é o de lançar mais e mais luz no conjunto do conhecimento humano sobre o mundo, ainda que pouco a pouco.

Nós defendemos a ideia de que a ciência moderna e contemporânea não falsificou nem colocou em xeque a filosofia natural e a metafísica aristotélicas. Ao contrário, pensamos que a ciência dos últimos séculos proporcionou um sólido suporte empírico para a filosofia natural e a metafísica aristotélicas, sobretudo com a mecânica quântica no século XX. Defendemos que, sim, muitas descobertas e muitos progressos, sobretudo

desde Galileu até a primeira metade do século XX, *pareceram* fragilizar a filosofia da natureza e a metafísica de Aristóteles e da Escolástica, de que elas, em si mesmas, *pareceram* se colocar em oposição ao aristotelismo e à filosofia medieval da natureza. Sustentamos que o conflito nestes últimos séculos não ocorreu entre a metafísica peripatética e medieval e a ciência moderna e contemporânea, mas entre a metafísica peripatética e medieval e uma certa leitura da ciência moderna e contemporânea.

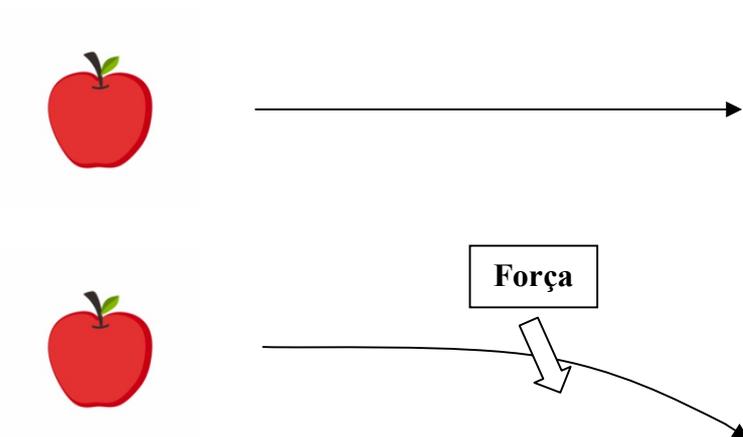
Portanto, o que esperamos é que essa pesquisa contribua para uma visão mais positiva da filosofia da natureza e da metafísica aristotélico-escolásticas nas suas relações com a ciência moderna e contemporânea, notavelmente com conceitos fundamentais da Física, e que possa dar ao leitor uma melhor compreensão do valor que deve ser dado à compreensão adequada dos conceitos científicos.

A estrutura desse trabalho organiza-se em três capítulos. No primeiro capítulo apresentaremos um breve elenco dos tipos de forças que a Física atual afirma existir, bem como uma exposição das suas características. No segundo capítulo faremos algumas reflexões sobre estas forças tais como apresentadas pela Física moderna e contemporânea, sempre sob a luz dos princípios da Filosofia escolástica da natureza. Algumas questões que tocam certas forças de modo mais específico serão abordadas, como a causalidade à distância na gravitação e aparentes incompatibilidades existentes entre a força nuclear fraca (com o decaimento do núcleo atômico e a consequente emissão de radiação) e a noção de causalidade na filosofia escolástica. Outras várias questões poderiam ser abordadas, mas estenderiam demais este trabalho para além do que ele pretende ser. No terceiro capítulo iremos tirar algumas conclusões como frutos destes nossos esforços.

CAPÍTULO 1 - EXPOSIÇÃO DOS TIPOS DE FORÇAS

O presente capítulo apresenta um breve elenco dos tipos de forças que a Física atual afirma existir, bem como uma exposição das suas características. O conhecimento desses tipos de forças é fundamental, pois nos permitirá em seguida, sempre sob uma perspectiva aristotélica e escolástica, tecer considerações sobre qual seria a natureza de cada uma, a existência real ou não de cada uma delas, que ação causal elas podem ter, e qual seria fundamento real delas, esta ou aquela característica de um ente que seja o princípio de uma dada força.

Na Física moderna, uma força é uma ação que muda o movimento de um objeto. Uma vez em movimento, um objeto tende a conservar seu movimento, em particular sua direção e velocidade. A lei da inércia afirma que *todo corpo persiste em estado de repouso, ou movimento retilíneo uniforme, exceto pela ação de forças sobre ele*. Uma vez em movimento, às vezes um objeto sofre uma alteração em sua velocidade e/ou direção. Algo ocorre em seu movimento e sofre uma mudança e dizemos que um objeto experimenta a ação de uma força.



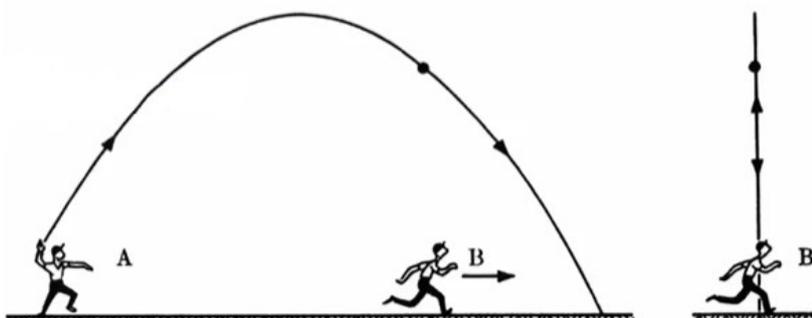
De acordo com a estrutura de exposição encontrada em todos os livros didáticos de ensino superior, podemos classificar todas as forças em três categorias: 1. forças inerciais, 2. forças da natureza e 3. forças de contato.

1.1 Forças inerciais

Citamos acima a primeira lei de Newton, a lei da inércia, segundo a qual *todo corpo persiste em estado de repouso, ou movimento retilíneo uniforme, exceto pela ação de forças sobre ele*. Porém, é necessário considerar que esta afirmação não é verdade de modo absoluto. Esta lei depende do referencial considerado. Ela não é verdade em qualquer referencial. As leis de Newton são válidas somente para referenciais inerciais. Qualquer referencial em repouso ou em movimento retilíneo uniforme (MRU), em relação a outro referencial inercial, é também um referencial inercial. Assim, por exemplo, como a Terra de fato está em movimento, ela é *considerada* um referencial inercial, ainda que de fato não o seja.

Na verdade, não há referencial absoluto. O que há é um referencial em que as coisas fiquem mais fáceis de serem analisadas, um referencial que pode ser escolhido para tornar mais simples os cálculos a serem feitos.

Alguém que, parado (A), lançasse um objeto como ilustrado na figura abaixo, o veria percorrer uma parábola, já não o veria realizar este desenho durante sua trajetória se corresse (B) na mesma velocidade horizontal do objeto lançado. Neste caso, veria o objeto simplesmente subir e descer. Diferentes condições iniciais levarão a diferentes movimentos observados.



De fato, sabemos que Newton assume o referencial galileano para suas leis, ou seja, todos os referenciais são equivalentes. A percepção que o observador tem em um determinado referencial será a mesma percepção para um segundo observador que

esteja em um outro referencial, desde que estes referenciais sejam inerciais, e referenciais inerciais são aqueles que não têm aceleração. Assim, para Newton, se um corpo não está em aceleração, ou ele está em repouso, ou ele está em movimento com velocidade e direção constantes.

Um observador que está em repouso ou em MRU é um observador inercial. Um observador que se encontrasse em um referencial não-inercial é um observador que se encontra em aceleração.

Se uma pessoa estivesse parada sobre uma calçada e visse um ônibus frear, ela observaria que os passageiros inclinam seus corpos para frente. Aqui se aplicaria a primeira lei de Newton, a lei da inércia, segundo a qual *um corpo persiste em movimento retilíneo uniforme, exceto pela ação de forças sobre ele.*

Mas se o observador estivesse dentro do ônibus ele já não seria um referencial não-inercial e teria uma clara sensação de que é levado para frente por uma força. Neste caso não estamos mais na ausência de forças. O observador está dentro do ônibus que freia, portanto também está acelerado (com aceleração negativa).

Igualmente, podemos pensar em uma força que empurra para trás o motorista quando este acelera o carro, ou em uma força que nos empurra para o lado do carro quando ele faz uma curva. Igualmente nos parques de diversão, em brinquedos que usam a rotação como modo de funcionamento próprio. Um corpo que esteja em uma trajetória curvilínea, seja no caso de uma pessoa dentro de um carro que faz uma curva, seja uma pessoa em um brinquedo que realiza um movimento rotacional, ou qualquer outro caso semelhante, sofrerá uma ação daquilo que é chamado de *força centrífuga*. Uma pessoa dentro de um carro fazendo uma curva, ou dentro de um brinquedo em rotação, tende a seguir em linha reta por inércia, saindo tangencialmente ao movimento de rotação, na direção e sentido do vetor velocidade, que é sempre tangente à trajetória da rotação, e se sentirá jogado para fora do carro ou do brinquedo.

Ainda usando um carro como exemplo, uma pessoa que estivesse dentro de um carro em aceleração *se sentiria jogado para trás*, contra o banco do carro, como se uma *força* o empurrasse no sentido contrário à aceleração do veículo.

O observador interno tem a sensação de que existe uma força que o joga para fora do carro, ou que o empurra para trás.

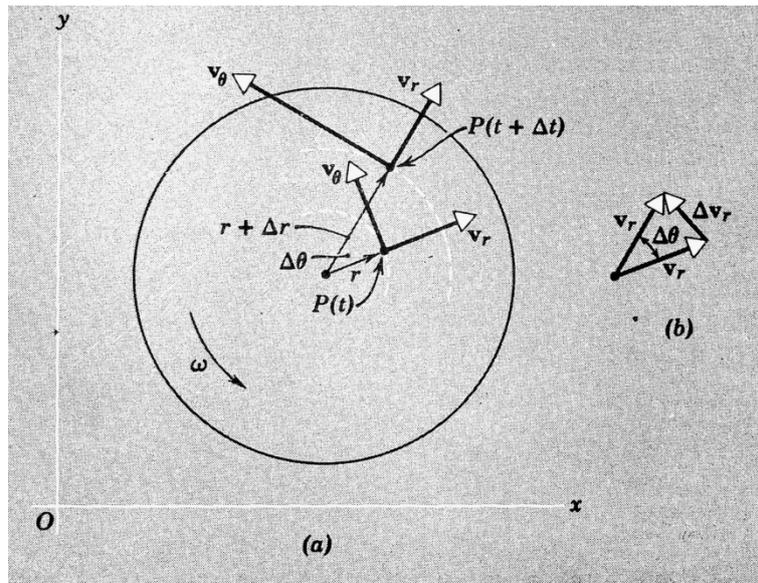
Já o observador externo, inercial, tem a certeza de que essa força é tão somente uma impressão do observador que está dentro do referencial não inercial realizando uma alteração na velocidade ou direção do movimento. É possível interpretar que uma força age sobre o passageiro do carro, mas não há agente algum exercendo força alguma. O que há é um movimento relativo do passageiro em relação ao carro.

Essa força centrífuga, bem como a força que inclina o passageiro na freada do ônibus ou o motorista durante a aceleração (positiva ou negativa) do carro, recebem o nome de *forças inerciais*, aparecendo em um corpo quando ele muda de velocidade ou direção. Elas parecem existir para quem está dentro do sistema acelerado não inercial, mas para o observador inercial elas não existem realmente e os fenômenos observados são consequências do comportamento inercial próprio de um corpo.

Há uma outra força inercial que aparece em sistemas não-inerciais em rotação: a *força de Coriolis*.

O movimento de um corpo através de um sistema de referência não-inercial é visto de forma diferente por observadores diferentes. Se o observador for estacionário, parado no solo, se comportando como um referencial inercial, o movimento do corpo será retilíneo ao longo de todo o movimento ao ocorrer sobre uma plataforma giratória. Mas se o observador estiver girando junto com a plataforma, se eles estiverem em um referencial não inercial, o movimento do corpo parecerá curvilíneo. Se diz que a curvatura deste movimento é causada pela força de Coriolis.

O fato do observador não-inercial perceber o objeto que é lançado sobre uma plataforma giratória realizar uma trajetória curva não significa que o trajeto deste objeto lançado seja, de fato, curvo.



Lembremos que podemos interpretar a Mecânica Clássica com simplicidade, se os eventos forem observados de um referencial inercial. Se fizermos assim, podemos sempre associar as acelerações com forças exercidas por corpos da vizinhança, que podem ser identificados. No entanto, a Mecânica Clássica ainda pode ser aplicada se o referencial escolhido não for inercial, como no caso do referencial girar. O pequeno ônus decorrente disso será a necessidade de introduzir *forças fictícias* ou *inerciais*, isto é, forças que não podem ser atribuídas a corpos da vizinhança e que não podem ser observadas em um referencial inercial. (...) Suponhamos que a pessoa que está caminhando ao longo de um raio, no carrossel gigante, seja observada de um referencial ligado ao carrossel. A velocidade da pessoa é constante, $v_r = dr/dt$. O observador diria que a pessoa está em equilíbrio, pois não possui aceleração; contudo, o piso está exercendo uma força de atrito (muito real) nas solas dos pés da pessoa. Tal força tem um componente ($u_r F_r$) dirigido radialmente para o centro, e um outro ($u_\theta F_\theta$) dirigido segundo θ , isto é, segundo o sentido de rotação. Do ponto de vista do observador no solo, essas forças são compreensíveis e inteiramente necessárias. F_r está associada com a aceleração centrípeta, $\omega^2 r$ e F_θ com aceleração de Coriolis, $2\omega v_r$. Observador no carrossel, entretanto, não vê nenhuma dessas acelerações; para ele, a pessoa que caminha está em equilíbrio. Como pode ser isso, em vista das forças de atrito que atuam nas solas dos sapatos da pessoa? A própria pessoa tem consciência dessas forças; se ela não se inclinar para compensar seus efeitos, tais forças poderão derrubá-lo! O observador no carrossel salva a situação declarando que duas forças fictícias atuam na pessoa que caminha, equilibrando exatamente as forças de atrito (reais). Uma dessas forças fictícias, denominada *força centrífuga*, tem módulo F_r e atua radialmente para fora. A outra, chamada *força de Coriolis*, tem módulo F_θ e atua no sentido negativo de θ , isto é, no sentido oposto ao de rotação. Introduzindo essas forças, que lhe parecem completamente "reais", embora ele não possa identificar qualquer corpo da vizinhança que as origine, o observador que está no referencial girante (não-inercial) pode aplicar a Mecânica Clássica da maneira habitual. O observador no solo, que está em um referencial inercial, não pode detectar essas

forças fictícias, das quais ele de fato não necessita — e não há lugar para elas — em suas aplicações da mecânica clássica. (HALLIDAY, 1983, p.314)

Se duas pessoas brincam em um carrossel, distantes diametralmente uma da outra, e uma delas lança uma bola para frente, em direção à outra pessoa, um observador inercial verá a bola percorrer uma trajetória retilínea. Porém, para um observador não-inercial, girando juntamente com as duas pessoas do carrossel, de modo a que os dois participantes sejam vistos imóveis, a trajetória da bola será vista como curvilínea. Este efeito é chamado de efeito de Coriolis, atribuído à respectiva *força de Coriolis*.

Na literatura oceanográfica e meteorológica, o efeito Coriolis é variadamente descrito como uma força ou uma força aparente. Ela pode ser considerada uma força se o ponto de referência de alguém é a terra. Considere, por exemplo, um satélite em órbita polar. (...) Para um observador no espaço, o satélite tem um plano de órbita fixo, imutável, mas para um observador na terra, o satélite sempre segue um padrão curvo, cruzando o Equador um pouco mais a oeste a cada passagem. Para o observador estabelecido em terra, o satélite está submetido à uma força que o move em direção a oeste.¹ (SCHWEITZER, 1973, p. 3, tradução nossa)

Finalmente, e isto é muito importante, apesar da força centrífuga, da força de Coriolis, da força sentida pelos passageiros de um veículo que freia ou acelera, serem chamadas de forças fictícias, **devemos notar que há um fenômeno real e observável, causado pelo movimento relativo dos sistemas.**

1.2 Forças da natureza

Forças inerciais não são as únicas a agir sobre os corpos. Em uma segunda categoria nós podemos classificar forças que exercem sua ação causal em tudo o que existe, desde os átomos até os planetas e astros. Elas são a força gravitacional, a força eletromagnética, a força nuclear fraca e a força nuclear forte.

¹ *In oceanographic and meteorologic literature, the Coriolis effect is variously described as a force or an apparent force. It may be considered a force if one's frame of reference is the earth. Consider, for example, an earth satellite in polar orbit. (...) To an observer in outer space, the satellite has a fixed, unchanging plane of orbit, but to an observer on earth, the satellite forever follows a curving path, crossing the Equator a little to the west with each passing. To the earth-bound observer, the satellite is subjected to a force which urges it westward.*

1.2.1 Força gravitacional

Uma das metas mais duradouras da Física é de procurar compreender a força da gravidade. A força gravitacional é uma força de atração que ocorre entre os corpos que possuem massa, uma força atrativa. O problema da gravitação foi um dos que mais preocupou Isaac Newton, senão o que o mais ocupou de fato. Era, para ele, a força por excelência. Como afirma Max Jammer (JAMMER, 1999, p. 116),

O conceito de força de Newton está intimamente relacionado, histórica e metodologicamente, aos seu profundo estudo da gravitação.²

Muito já foi discutido sobre o que seria, para Newton, a gravitação. Historiadores da ciência têm opiniões divididas quanto a saber se Newton concebia a gravitação como uma pura ação à distância ou não, e algumas publicações falam de uma possível influência das ideias de Jacob Böhme, místico protestante e esotérico, muito estudado por Newton. O que quer que seja, Max Jammer resume deste modo a concepção que Newton tinha da gravitação, a partir da consideração de muitos de seus escritos e trocas de cartas com físicos de sua época:

Para resumir: o conceito de força de gravitação é finalmente uma noção irreduzível no esquema conceitual da ciência física de Newton. É distinguido de outros tipos de força por sua universalidade e conseqüente importância para considerações astronômicas e cosmológicas. Seus aspectos quantitativos são afirmados a partir de observações experimentais; sua natureza última é desconhecida. É importante notar que isso implicava para os contemporâneos de Newton que a gravitação permanecia um fenômeno inexplicado.³ (JAMMER, 1999, p. 141)

² *Newton's concept of force is intimately related, historically as well methodologically, to his profound study of gravitation.*

³ *To sum up: the concept of gravitational force is an ultimately irreducible notion in Newton's conceptual scheme of physical science. It is distinguished from other kinds of force by its universality and consequent importance for astronomical and cosmological considerations. Its quantitative aspects are ascertained from experimental observations, its ultimate nature is unknown. It is important to note that this implied for Newton's contemporaries that gravitation remains an explained phenomenon.*

Na prática, porém, era uma força de atração existente entre os corpos do universo que têm massa.

Séculos depois Einstein formulará a Teoria da Relatividade Geral (TRG), que é uma teoria da gravitação, vendo-a de modo profundamente diferente se comparada à Mecânica Clássica de Newton. A gravitação não seria mais propriamente uma força, mas uma consequência de uma maior ou menor curvatura do espaço-tempo, causada pela massa de um corpo (HALLIDAY, 2018, p. 375). O espaço-tempo seria comparável a um tecido elástico que seria tão mais deformado quanto mais matéria se encontra em um certo local. Os fenômenos gravitacionais passam a ser descritos de modo geométrico, por novas equações. Uma vez distorcido o espaço-tempo por um corpo de grande massa, outro objeto que se aproxime será afetado no seu movimento pela curvatura do espaço-tempo (RIAZA, 1953, p. 554). Um corpo dotado de grande massa não agiria diretamente em outro corpo que ele parece atrair em sua direção, mas distorceria o espaço-tempo, produzindo indiretamente o fenômeno gravitacional observado. Deste modo, a força da gravidade não seria real, mas uma ilusão.

No espaço, uma linha reta é determinada pelo caminho percorrido por um feixe de luz. Quando se afasta de quaisquer massas gravitacionais, não é influenciado por elas; mas em sua vizinhança a luz é curva ou inclinada em direção às massas. Por esta razão, diz-se que o próprio espaço é "curvo"; daí a origem de termos como espaço-curvatura ou curvatura do espaço. O espaço não deve ser imaginado como curvo no sentido comum da palavra, mas apenas porque contém massas gravitacionais (estrelas e outros sistemas solares que possam existir) que fazem com que os raios de luz sejam desviados em sua vizinhança.⁴ (COLEMAN, 1959, p. 110, tradução nossa)

A TRG de Einstein conseguia dar conta de alguns problemas deixados sem solução adequada por Newton: uma possível transmissão da força da gravidade, uma visão absoluta do tempo e do espaço (já contradita pela Teoria da Relatividade Especial), uma previsão insuficiente do desvio que a luz deveria sofrer sob a ação de um corpo, questões novas que a astronomia levantava, como o surgimento de buracos negros.

⁴ *Out in space a straight line is determined by the path a light beam takes. When it travels far away from any gravitational masses it is not influenced by them; but in their vicinity the light is curved or bent towards the masses. For this reason, space itself is said to be 'curved'; hence the origin of such terms as space-curvature, or the curvature of space. Space should not be imagined to be curved in the ordinary sense of the word, but only in that it contains gravitational masses (stars and other solar systems that may exist) which cause light rays to be deflected in their vicinity.*

Entretanto, aproximadamente no mesmo período de tempo, desenvolvia-se a Física Quântica. Ela se interessa pelo mundo atômico e subatômico. Duas teorias que se baseiam em quadros fundamentalmente diferentes, duas concepções do mundo, cada uma delas muito eficaz na sua respectiva esfera, explicando muitíssimo bem os fenômenos que lhes dizem respeito. São teorias capazes de fazer previsões com sucesso, igualmente, verificáveis com altíssima precisão.

Porém, ambas apresentam lacunas e os físicos contemporâneos encontram dificuldades para unificar a TRG e a Mecânica Quântica. Noções de espaço-tempo diferentes, bem como as estruturas matemáticas de ambas. Einstein se dedicará, durante os últimos anos de sua vida, a encontrar uma teoria unificada, capaz de conciliar a TGR e a Mecânica Quântica.

Atualmente muitos físicos procuram estabelecer de modo satisfatório uma teoria quântica da gravitação, ainda sem sucesso. Esbarram em alguns problemas, dentre os quais a impossibilidade da gravidade ser quantificada e conciliada com as teorias quânticas e uma partícula elementar possivelmente responsável pela gravitação não ter sido ainda encontrada (LUMINET, 2021).

1.2.2 Força eletromagnética

Partículas atômicas dotadas de carga elétrica interagem entre si, por meio de forças fundamentais. Uma delas é a interação eletromagnética, pela qual elétrons se repelem mutuamente, o mesmo ocorrendo entre dois prótons. Por outro lado, um elétron e um próton se atraem.

O primeiro indício para a compreensão da estrutura atômica veio de experiências de Thomson (1856-1940) que, em 1897, descobriu partículas menores do que átomos em raios catódicos. Estes raios eram observados passando entre terminais de alta voltagem num tubo de vidro com gás a baixa pressão. Estas partículas, chamadas de *corpúsculos* por Thomson, e depois batizadas de elétrons, tinham carga negativa e eram cerca de duas mil vezes mais leves do que um átomo de hidrogênio. Eram exatamente as mesmas, fossem quais fossem o gás do tubo ou o metal dos terminais. Isso sugeria fortemente que os elétrons estavam presentes em todo tipo de matéria. Os átomos deviam também conter carga elétrica positiva, para equilibrar a negativa dos elétrons.

Trabalhando com partículas produzidas em suas experiências sobre radioatividade, Ernest Rutherford investigou átomos e verificou que a carga positiva se concentrava num diminuto núcleo.

Tratando das partículas do átomo, Halliday diz:

Os átomos consistem em *prótons* positivamente carregados, *elétrons* negativamente carregados e *nêutrons* eletricamente neutros. Os prótons e nêutrons são compactados firmemente juntos em um *núcleo* central.

A carga de um único elétron e a de um único próton têm a mesma magnitude, mas são opostos em sinal. Assim, um átomo eletricamente neutro contém números iguais de elétrons e prótons. Os elétrons são mantidos perto do núcleo porque eles têm o sinal elétrico oposto ao dos prótons no núcleo e, portanto, são atraídos para o núcleo.⁵ (HALLIDAY, 2018, p. 640)

No nível atômico, dizemos que dois elétrons exercem forças eletromagnéticas um sobre o outro de acordo com a lei de Coulomb. Em um nível mais profundo, essa interação é descrita por uma teoria altamente bem-sucedida chamada **eletrodinâmica quântica** (EDQ). Desse ponto de vista, dizemos que cada elétron sente a presença do outro trocando fótons com ele.

Não podemos detectar esses fótons porque eles são emitidos por um elétron e absorvidos pelo outro muito pouco tempo depois. Por causa de sua existência indetectável, nós os chamamos de **fótons virtuais**. Como eles se comunicam entre as duas partículas carregadas que interagem, às vezes chamamos esses fótons de *partículas mensageiras*.⁶ (HALLIDAY, 2018, p. 1352-1353)

A relação entre magnetismo e eletricidade foi descoberta por Hans Christian Ørsted que, em 1820, aproximou uma bússola de um fio pelo qual passava uma corrente elétrica e constatou que a agulha imantada da bússola tinha sua direção afetada pelo condutor.

Em torno desta época Dominique François Arago observou que um pedaço de ferro ficava magnetizado se colocado próximo de uma corrente elétrica e Ampère criou

⁵ *Atoms consist of positively charged protons, negatively charged electrons, and electrically neutral neutrons. The protons and neutrons are packed tightly together in a central nucleus. The charge of a single electron and that of a single proton have the same magnitude but are opposite in sign. Hence, an electrically neutral atom contains equal numbers of electrons and protons. Electrons are held near the nucleus because they have the electrical sign opposite that of the protons in the nucleus and thus are attracted to the nucleus.*

⁶ *At the atomic level, we say that two electrons exert electromagnetic forces on each other according to Coulomb's law. At a deeper level, this interaction is described by a highly successful theory called **quantum electrodynamics** (QED). From this point of view, we say that each electron senses the presence of the other by exchanging photons with it. We cannot detect these photons because they are emitted by one electron and absorbed by the other a very short time later. Because of their undetectable existence, we call them **virtual photons**. Because they communicate between the two interacting charged particles, we sometimes call these photons messenger particles.*

o primeiro ímã elétrico ao envolver uma barra de ferro com uma bobina de fio elétrico. Assim iniciaram-se os fundamentos do estudo do eletromagnetismo.

1.2.3 Forças nucleares forte e fraca

A coesão de prótons e nêutrons no núcleo atômico é explicada pela força nuclear forte, enquanto que a força nuclear fraca é responsável pelo surgimento da radioatividade. Ainda segundo Halliday,

A força que controla os movimentos dos elétrons atômicos é aquela conhecida como força eletromagnética. Para unir o núcleo, no entanto, deve haver uma forte força atraente nuclear de um tipo totalmente diferente, forte o suficiente para superar a força repulsiva entre os prótons nucleares (carregados positivamente) e para unir prótons e nêutrons no minúsculo volume nuclear. A força nuclear deve também ser de curto alcance porque sua influência não se estende muito além da “superfície” nuclear.

A visão atual é que a força nuclear que liga nêutrons e prótons no núcleo não é uma força fundamental da natureza, mas um efeito secundário, ou “transbordamento”, da **força forte** que une os quarks para formar nêutrons e prótons. Da mesma forma, a força de atração entre certas moléculas neutras é um efeito de transbordamento da força elétrica de Coulomb que atua dentro de cada molécula para uni-la.⁷

Toda a matéria está submetida a estas quatro forças: gravidade, eletromagnetismo e forças nucleares forte e fraca. A gravidade é que mantém as pessoas na Terra e os planetas em órbita em torno do Sol. Muitíssimo mais poderoso que ela, o eletromagnetismo é responsável pelo comportamento dos elétrons. Já a força nuclear fraca, bilhões de vezes mais fraca que o eletromagnetismo, é responsável pela radioatividade e pela fusão nuclear (que explica o funcionamento do Sol e das estrelas). Ela não vai além do núcleo atômico e só foi detectada quando os físicos se tornaram capazes de estudar o interior do átomo. Em 1983, por causa de resíduos gerados pela

⁷ *The force that controls the motions of atomic electrons is the familiar electromagnetic force. To bind the nucleus together, however, there must be a strong attractive nuclear force of a totally different kind, strong enough to overcome the repulsive force between the (positively charged) nuclear protons and to bind both protons and neutrons into the tiny nuclear volume. The nuclear force must also be of short range because its influence does not extend very far beyond the nuclear “surface.” The present view is that the nuclear force that binds neutrons and protons in the nucleus is not a fundamental force of nature but is a secondary, or “spillover,” effect of the **strong force** that binds quarks together to form neutrons and protons. In much the same way, the attractive force between certain neutral molecules is a spillover effect of the Coulomb electric force that acts within each molecule to bind it together.*

colisão de partículas subatômicas em um acelerador de partículas, descobriram-se as partículas responsáveis por transportar a força nuclear fraca. Finalmente, a força nuclear forte, cem vezes mais forte que o eletromagnetismo, afeta as partículas denominadas *quarks*. Prótons, nêutrons e outras partículas são feitos de pares ou trios de quarks. A mais poderosa das forças, a força nuclear forte, só é sentida pelos quarks. Ela os une de modo tão íntimo que jamais eles foram observados isoladamente.

Enfim, a gravidade controla todo o Sistema Solar, mantendo a órbita dos planetas, asteroides, cometas e corpos menores, até mesmo de Plutão, que permanece em órbita em torno do Sol mesmo estando distante 7 bilhões de quilômetros dele. Ela vai muito além, e aglomerados de galáxias com milhões de anos-luz de diâmetro mantêm-se coesos graças a sua própria gravidade, que sempre atrai. Paradoxalmente, é a força mais fraca de todas dominando todo o Universo, enquanto as forças nucleares, muito mais fortes do que a gravidade, não ultrapassam os limites do núcleo atômico. Forças eletromagnéticas têm longo alcance, igualmente, mas um comportamento diferente, podendo atrair e repelir, e se neutralizam mutuamente.

1.3 Forças de contato

São forças produzidas quando ocorre algum contato entre dois corpos. Desta forma, uma vez terminado o contato, estas forças deixam de exercer sua ação causal sobre o corpo.

Forças desta espécie são comuns no dia-a-dia: pessoas abrindo e fechando portas, janelas, lançando bolas e apertando parafusos, etc. Todas as forças empregadas nestes atos são forças de contato. Algumas dessas forças recebem nomes específicos e são muito estudadas já no currículo escolar: atrito, força normal e tração.

CAPÍTULO 2 - REFLEXÕES SOBRE ESTAS FORÇAS SOB A LUZ DOS PRINCÍPIOS DA FILOSOFIA ESCOLÁSTICA DA NATUREZA

Esse capítulo discute as forças elencadas no capítulo 1 sob a luz da filosofia escolástica e sua base aristotélica, na intenção de procurar compreender, tanto quanto possível, a natureza específica de cada uma destas forças e suas ações causais.

2.1 A Física moderna como uma matematização do mundo sensível

A Física moderna, contrastando com a Física na Antiguidade e na Idade Média, se apresenta como uma matematização do sensível. Desta forma, no seu trabalho de investigação e explicação da natureza, o físico moderno terá um procedimento de todo diferente daquele usado pelo físico nas épocas da história que o precederam: o emprego conjunto de seres reais e de seres de razão na explicação dos fenômenos físicos. Esta característica é tão fundamental para podermos refletir sobre a natureza desta entidade física denominada *força* em física moderna que as noções de *ens reale* e de *ens rationis* merecem um maior desenvolvimento neste nosso trabalho.

No seu processo de estudo da natureza, a Física moderna procura reunir dados sensíveis e empíricos em grande número para, neste processo, segundo a expressão de Jacques Maritain, submetê-los a **uma regra de explicação de ordem matemática**.

Nas palavras de Maritain:

Um primeiro ponto deve ser trazido aqui à luz, [...]: não é a natureza das causas físicas consideradas em si mesmas que a ciência físico-matemática busca. Ela trabalha sobre o real físico, mas para considerá-lo do ponto de vista formal da matemática e das legalidades matemáticas que unem entre elas as medidas coletadas por nossos instrumentos na natureza. Ele resolve [unifica] todos os seus conceitos no mensurável. E o que verifica a síntese dedutiva que ela constrói é apenas a concordância dos resultados numéricos desta com as medidas efetivamente encontradas; não se segue disto que os seres matemáticos que intervêm nesta síntese representem definitivamente as causas e as entidades reais que são como as

*articulações ontológicas do mundo da natureza sensível.*⁸
(MARITAIN, 1932, p. 270, tradução e grifos nossos)

A Física moderna aborda seu objeto real sob a luz da ordem matemática, mas nem por isso ela será uma ciência total e absolutamente matemática. Ela procurará estabelecer toda uma rede de relações matemáticas entre os fenômenos sensíveis, e esta visão matemática dos fenômenos físicos constituirá o seu objeto formal, seu objeto de estudo próprio e que distinguirá a ciência física experimental da ciência puramente matemática e da Física peripatética (que é uma ciência do ser físico enquanto tal). Mas o físico moderno não se contentará com as puras relações matemáticas que ele conseguir estabelecer entre os fenômenos físicos observados. A inteligência humana deseja naturalmente conhecer, busca explicar a razão e as causas das coisas, e um físico moderno será naturalmente inclinado a integrar e associar às suas explicações formalmente matemáticas dos fenômenos uma explicação causal de ordem propriamente física, onde seres reais são colocados em relação real entre si, na tentativa de, feitas as considerações matemáticas sobre os fenômenos, estabelecer uma teoria propriamente física dos fenômenos observados realmente no mundo.

*Tal ciência, como vimos, se mostra à primeira vista como uma matematização do sensível; exigindo à indução um dado empírico bem estabelecido, mas para submetê-lo a uma forma dedutiva e a uma regra de explicação de ordem matemática, ela corresponde ao tipo epistemológico que os antigos chamavam de "ciências intermediárias" (scientiae mediae), **ciências que se apoiam [cavalgam] sobre a ordem física e sobre a ordem matemática, que são materialmente físicas e formalmente matemáticas, de modo que ambas têm, quanto à sua regra de explicação, mais afinidade com a matemática do que com a física, e são, quanto ao termo em que elas verificam seus julgamentos, mais físicas do que matemáticas.***⁹
(MARITAIN, 1932, p. 272, tradução e grifos nossos)

⁸ *Un premier point doit être ici mis en lumière, [...] : ce n'est pas la nature des causes physiques considérée en elle-même que la science physico-mathématique recherche. Elle travaille sur le réel physique, mais pour l'envisager au point de vue formel des mathématiques, et des légalités mathématiques qui relient entre elles les mesures recueillies par nos instruments dans la nature. Elle résout tous ses concepts dans le mesurable. Et ce qui vérifie la synthèse déductive qu'elle édifie, c'est seulement la coïncidence des résultats numériques de celle-ci avec les mesures effectivement trouvées ; il ne s'ensuit pas que les êtres mathématiques qui interviennent dans cette synthèse représentent déterminément les causes et les entités réelles qui sont comme les articulations ontologiques du monde de la nature sensible.*

⁹ *Une telle science, nous l'avons vu, apparaît de prime abord comme une mathématisation du sensible ; demandant à l'induction un donné empirique bien établi, mais pour le soumettre à une forme déductive et à une règle d'explication d'ordre mathématique, elle répond au type épistémologique que les anciens dénommaient « sciences intermédiaires » (scientiae mediae), **sciences qui chevauchent sur l'ordre physique et sur l'ordre mathématique, qui sont matériellement physiques et formellement***

Cabe aqui uma breve explicação dos termos *materialmente* (em latim: *materialiter*) e *formalmente* (idem: *formaliter*), termos próprios do léxico escolástico (SIMON, 1915, p. 351; DEFERRARI, 2004, pp. 438-439).

Materialmente é um termo empregado para se referir, na esfera epistemológica, ao objeto de estudo de uma ciência, considerado em si mesmo, sem qualquer outro aspecto específico. Deste modo, uma maçã poderá ser igualmente o objeto material do biólogo, do nutricionista, do físico, do economista até. Todos eles podem estudar o mesmo ser considerado materialmente, *materialiter*, coisa tal como ela é sem consideração de nenhum outro aspecto a mais.

Formalmente é um termo empregado para se referir, também na esfera epistemológica, ao objeto de estudo propriamente dito de uma ciência, um ser considerado sob aquele aspecto próprio e específico daquela ciência e que a distingue das outras, marcando assim a distinção própria e específica de uma ciência face às outras. Deste modo, o biólogo estudará uma maçã sob o aspecto de suas características biológicas, o nutricionista estudará a maçã sob o aspecto de sua influência na nutrição humana, o economista estudará a maçã sob o aspecto de sua aptidão a ser produzida, comercializada, utilizada na fonte de renda de uma comunidade, por exemplo. O físico, enfim, estudará uma maçã sob a consideração dos fenômenos que interferem sobre a maçã enquanto corpo material sujeito a ações causais matematicamente quantificáveis e calculáveis. Todos eles estudam o mesmo ser, neste caso a maçã, de modo que ela é, para eles, o mesmo objeto material. Mas cada um considerará este mesmo objeto material sob aspectos especificamente muito diversos, sob formalidades diferentes, *formaliter diversae* (formalmente diversas), o que especificará de fato cada ciência, distinguindo-as umas das outras, apesar de se debruçarem sobre o mesmo objeto material de estudo.

A Física atual, portanto, considera um certo objeto material (no sentido epistemológico aqui), os seres reais compostos de matéria, mas sob o aspecto da quantificação dos fenômenos que com eles ocorrem (aspecto formal). Diremos, assim, que ela é uma ciência materialmente física e formalmente matemática.

mathématiques, en sorte qu'à la fois elles ont, quant à leur règle d'explication, plus d'affinité avec les mathématiques qu'avec la physique, et sont, quant au terme où elles vérifient leurs jugements, plus physiques que mathématiques. (grifos nossos)

Deste modo, o físico moderno empregará indistintamente e em conjunto, lado a lado, nas suas explicações teóricas, tanto seres reais como seres matemáticos de razão, frutos estes da atividade da razão enquanto realiza suas operações de raciocínio e reflexão sobre os seres reais na tentativa de conhecê-los.

2.2 *Ens reale e ens rationis* na ciência física experimental

Constatando, assim, que uma das características próprias da física experimental moderna é a abordagem dos fenômenos físicos sob a luz da ordem matemática, e de que o físico moderno faz uso tanto de entes reais (*entia realia*) como de entes matemáticos de razão (*entia rationis*) nas suas explicações teóricas, somos conduzidos a investigar mais profundamente o que são entes reais, o que são entes de razão e qual é a relação existente entre ambos. O conhecimento adequado destas duas classes de entes e das relações entre eles, tais como expostas pela escolástica, será de imensa valia nas considerações que serão feitas sobre a natureza das forças na ciência física moderna, propósito deste nosso trabalho.

2.2.1 O ente real (*ens reale*)

O conceito de ente na filosofia escolástica é de uma complexidade e amplitude imensas. Para o escopo deste nosso trabalho, basta por hora conhecermos uma primeira distinção unanimemente ensinada nos livros de metafísica escolástica, aquela que distingue o conjunto dos seres em seres reais e seres de razão.

Seres reais são aqueles que têm sua essência atualizada *de fato*, fora da mente humana, no mundo, de modo individual e atual: este homem aqui, diante de mim, com quem converso agora; esta folha de papel em minhas mãos, esta pedra sobre minha escrivaninha; esta cor branca nesta parede. São seres que possuem realidade plena (SIMON, 1915, p. 258).

Os seres reais, aqueles que existem de fato fora da mente humana, realizados atualmente, não são seres todos do mesmo modo. Não se pode atribuir a noção de *ser* igualmente a um indivíduo concreto, que existe em si mesmo que oferece suporte para

as qualidades que são ou podem ser recebidas nele, e a cada uma das qualidades que este indivíduo tem ou pode ter.

Uma folha de papel existe em si mesma, não precisa apoiar-se, por assim dizer, em nenhum outro ser para existir de fato no mundo real. Mas não se dá o mesmo com a cor branca desta mesma folha. Nunca encontraremos, nunca será possível observar a brancura em si mesma sem que ela esteja sendo recebida em outro ser que existe em si mesmo. A cor branca está sempre em outro ser, nesta folha de papel, nesta cerâmica, nesta pedra, mas nunca será vista tendo realidade em si mesma sem estar apoiada em outro ser. Podemos dizer que sua cor branca não tem "intensidade" suficiente de ser para poder existir em si mesma. Tem "intensidade" suficiente de ser para existir em outro, mas não em si.

O ser que simplesmente existe em si é a substância. Já o ser dos acidentes é um *estar em outro*. Os antigos escolásticos diziam: *accidentis esse est inesse* (o ser do acidente é estar em outro). Isto não significa que o acidente não seja algo. É algo real, mas em outro e de outro. Os acidentes de uma substância recebem seu ser efetivo da substância em que se encontram e formam com ela uma unidade metafísica. Uma folha de papel de cor branca é um ser só.

Aristóteles (e os escolásticos juntamente) dividem os seres reais em dez categorias. As dez categorias são os gêneros supremos do ser real (SALCEDO, 1957, p. 88). Todos os seres reais podem ser classificados em alguma das dez categorias de Aristóteles, **uma delas sendo a substância, à qual vêm se unir nove categorias de acidentes**. Portanto, as dez categorias em que todos os tipos de seres reais podem ser classificados são: *substância, quantidade, qualidade, relação, ação, paixão, lugar, tempo, posição e hábito*, exemplificados de modo bastante simples na frase seguinte: "Sócrates (substância primeira) é um homem (substância segunda) pequeno (quantidade), calvo (qualidade), filho de Sofronisco (relação), ensinando filosofia (ação) e perseguido pelos sofistas (paixão) em Atenas (lugar) durante o governo de Péricles (tempo), em pé (posição) com sua clâmide (hábito)".

Cada ser real que existe será classificável em alguma destas dez categorias, considerando sempre que cada modo de ser implica em graus de participação distintos à noção de ser. A intensidade com que uma substância participa da noção de ser não é a

mesma com que uma quantidade participa, nem uma relação, e assim para cada um dos dez tipos de seres reais neste mundo.

Chamam-se assim, "*predicamenta*", *coisas atribuídas*, porque exprimem as determinações reais dos indivíduos, tal como se encontram nos indivíduos, independentemente de qualquer trabalho intelectual para as ordenar logicamente.¹⁰ (SIMON, 1915, p. 270, tradução nossa)

2.2.2 O ente de razão (*ens rationis*)

Há, como dissemos mais acima, um outro tipo de ente que não tem existência atual no mundo extramental. São entes que existem somente na inteligência humana, enquanto ela realiza seus atos próprios de intelecção, aos quais ela dá existência enquanto precisa deles para refletir e pensar sobre objetos reais de estudo. Estes entes muito peculiares recebem, por este motivo, a denominação de entes de razão.

Há entes que existem na inteligência humana como objeto de conhecimento, mas que não podem existir realmente fora da inteligência, no mundo real.

Em primeiro lugar, os entes de razão são o objeto próprio da Lógica. O intelecto humano faz juízos como, por exemplo, "Cavalos correm rapidamente". Também estrutura silogismos como, por exemplo, "Todo animal é mortal; ora, o homem é um animal; logo, o homem é mortal".

Ora, basta uma breve reflexão sobre os conceitos utilizados nos juízos e silogismos realizados pela razão humana para nos fazer ver que não estamos lidando com entes reais. Quem se perguntasse quantos cavalos no total correm, qual é a velocidade alcançada por eles, qual a cor destes cavalos, e outras perguntas do gênero, se encontraria diante de questões impossíveis de serem respondidas. A resposta é bastante simples, na realidade. Estes cavalos simplesmente não têm existência real no mundo extramental. Foram criados durante a reflexão da inteligência para que seja possível pensar e para que se possa chegar a conhecimentos universais sobre algo. Estes cavalos não têm existência real no mundo, são puro fruto da atividade da inteligência ao realizar seus atos próprios enquanto pensa. Por isso recebem o nome de *entes de razão*.

¹⁰ *On les appelle ainsi, « prædicamenta », choses attribuées, parce qu'ils expriment les déterminations réelles des individus, telles qu'elles se trouvent dans les individus, indépendamment de tout travail intellectuel pour les ordonner logiquement.*

Os entes dos quais trata o *lógico*, quando trata da predicabilidade, da predicação, da ilação, são entes *de razão*: não existem nem podem existir a não ser na mente. De modo semelhante, o próprio senso comum fala de entes *de razão* quando usa expressões como: *cegueira, mal, privação*.¹¹ (MAQUART, 1937, p. 43, tradução nossa)

Como nota Maritain:

[...] poderíamos ser tentados a crer que os *entia rationalis* apenas desempenham uma função em Lógica; isso seria um grave erro. O conhecimento comum faz uso, a cada instante, de entes de razão: é o caso, por exemplo, de cada vez em que dizemos "o mal triunfou nesta alma", ou "este homem foi vítima de sua surdez", ou "o sol se levanta", pois o mal e a surdez são privações, não são essências capazes de subsistir, e o sol não sobe no céu. As matemáticas formam constantemente entes de razão, como o número irracional, o número imaginário, o número transfinito, os espaços de configuração, etc.¹² (MARITAIN, 1932, p. 274, tradução nossa)

No conhecimento humano encontramos muitos objetos de conhecimento simplesmente pensados, que não correspondem à coisa alguma de real, e que entretanto são considerados como entes, ao mesmo tempo que não possuem realidade alguma em si mesmos. A cegueira, por exemplo, não é um ente, mas uma privação de algo (da capacidade de ver) e, entretanto, dizemos que alguém foi vítima da cegueira, como se a cegueira fosse algo realmente existente, enquanto sabemos que não o é.

O ente de razão não é, portanto, ente no sentido próprio e adequado da noção de *ente*, mas é dito *ente* por analogia àquilo que é verdadeiro ente, a saber, o ser real. Os escolásticos dizem do ente de razão: toma sua existência e é algo enquanto é conhecido e na medida em que é conhecido¹³.

Por qual motivo os entes de razão vêm a existir? A resposta é fácil se considerarmos a natureza do conhecimento humano: o conhecimento não é uma reflexão passiva das coisas, mas as reconstrói ativamente e a partir de "dados" produz novas sínteses (de conhecimento); *para produzir uma síntese, a razão forma para si mesma noções que, ainda que se refiram fundamentalmente a algo fora da alma, todavia são*

¹¹ **a)** *Entia de quibus disserit logicus, cum de praedicabilitate, de praedicatione, de illatione tractat, sunt entia rationis: nec existunt nec existere possunt nisi in mente. b)* *Similiter ipse sensus communis de entibus rationis loquitur, cum vocibus: coetitas, malum, privatio, utitur.*

¹² [...] *on pourrait être tenté de croire que les entia rationalis ne jouent un rôle que dans la Logique ; ce serait une grave erreur. Déjà la connaissance commune use à chaque instant d'êtres de raison : il en est ainsi par exemple chaque fois que nous disons « le mal a triomphé dans cette âme », ou « cet homme a été victime de sa surdité », ou « le soleil se lève », car le mal et la surdité sont des privations, non des essences capables de subsister, et le soleil ne monte pas dans le ciel. Les mathématiques forment constamment des êtres de raison, tels que le nombre irrationnel, le nombre imaginaire, le nombre transfini, les espèces de configuration, etc.*

¹³ *Fit et est dum cognoscitur et in quantum cognoscitur.*

*algo meramente pensado.*¹⁴ (DI NAPOLI, 1953, p. 421, tradução nossa)

O intelecto humano forma para si, muitas vezes, entes de razão (a cegueira, o mal, etc), *porque o objeto próprio do intelecto humano é o ente, é tudo aquilo que é.* Não é possível que a inteligência humana pense o que quer que seja que não se encontre sob a noção de *ser*. Mas encontrando-se diante de privações (por exemplo, a cegueira), ou encontrando-se diante de certas relações que não possuem realidade de fato (por exemplo, quando temos um objeto esférico à nossa direita e dizemos que estamos à esquerda deste objeto, sendo que o mesmo não possui lado algum, muito menos lado esquerdo), nosso intelecto dá existência durante o ato de reflexão a estas coisas, considerando-as como se tivessem algum ser nelas mesmas, mas sabendo perfeitamente, ao mesmo tempo, que elas não têm existência real alguma e de que são puros efeitos da atividade reflexiva da inteligência, que precisa pensá-las lançando mão de uma espécie de trapaça metafísica, que consiste em atribuir ser a coisas que de fato não são, não enquanto seres reais.

Este recurso "ardiloso" de que nossa razão faz uso é uma espécie de apoio, de bengala, que visa compensar limitações intrínsecas da nossa inteligência face à complexidade do real. É aqui onde se encontra a origem da criação, por assim dizer, na nossa inteligência, durante seus trabalhos intelectuais, e somente enquanto ela os desempenha, nos entes de razão. Terminada a reflexão, estes entes retornam ao nada.

2.2.3 O emprego dos entes reais e de razão na Física atual

Dissemos que a Física moderna e contemporânea aborda os fenômenos físicos sob a luz da ordem matemática, e de que o físico moderno faz uso tanto de entes reais (*entia realia*) como de entes matemáticos de razão (*entia rationis*) nas suas explicações teóricas. Uma vez explicados estes dois conceitos, entes reais e entes de razão, é hora de considerarmos de que modo o físico atualmente faz uso deles, particularmente no estudo das forças.

¹⁴ *Quaeri posset: Cur fiunt entia rationis? Responsio est facilis si attendatur ad naturam cognitionis humanae: cognitio non est passiva specularitas rerum, sed eas active reconstruit et ex "datis" novas syntheses facit (scientiae); ad syntesim faciendam ratio sibi effingit notiones quae, licet fundamentaliter referantur ad rem extra animam, tamen sunt aliquid mere cogitatum.*

Para quem considera o modo de proceder da ciência Física moderna, sua metodologia e seu modo de refletir sobre os fenômenos que estuda, fica claro que ela procura obter um conhecimento de seres reais (deste planeta, desta corpo em movimento, desta propriedade real deste átomo, etc.), mas não o faz perscrutando a realidade mesma de suas naturezas íntimas e de suas essências e princípios ontológicos mais fundamentais, mas reconstrói estes objetos de estudo, que são seres reais, realmente existentes no mundo, sob o ponto de vista das relações de medida de deduções matemáticas produzidas no esforço da reflexão da inteligência sobre estes seres.

Um físico que, hoje, estudasse o movimento realizado por um elefante de duas toneladas que escorregasse em uma ribanceira coberta de grama, o faria retendo para si os dados matemáticos que são possíveis de serem extraídos. O elefante some e ficamos somente com uma massa e duas toneladas... A ribanceira some igualmente, e é substituído por um plano inclinado de, digamos, 60° de angulação com o solo.

Um tal modo de estudar os seres físicos, sob uma abordagem predominantemente matemática, usará necessariamente de muitos seres de razão como auxiliares indispensáveis. Vale a pena repetirmos aqui uma afirmação de Maritain citada acima: "(...) não é a natureza das causas físicas consideradas em si mesmas que a ciência físico-matemática busca. **Ela trabalha sobre o real físico, mas para considerá-lo do ponto de vista formal da matemática e das legalidades matemáticas que unem entre elas as medidas coletadas por nossos instrumentos na natureza.**" (MARITAIN, 1932, p. 270, tradução e grifos nossos)

O que chamará a atenção de qualquer pessoa que considera a física moderna é que ela consiste toda em medidas, tabelas, gráficos e equações, que ela está toda ocupada em medir e calcular, em outras palavras, que de uma ponta a outra ela assume uma forma matemática.¹⁵ (DAUJAT, 1946, p. 106, tradução nossa)

A consequência é que no conjunto de entes compoendo as teorias científicas nas ciências físico-matemáticas encontraremos todos os graus de entes juntamente, desde uma multidão de entes reais que corresponderão ao conjunto de objetos reais estudados até entes de razão que não correspondem à coisa alguma de real, que são frutos da reflexão da inteligência sobre os fenômenos reais de seres reais, observados empiricamente, mas

¹⁵ *Ce qui frappera immédiatement quiconque considère la physique moderne, c'est qu'elle consiste toute en mesures, tables, graphiques et équations, qu'elle es toute occupée à mesurer et à calculer, autrement dit que d'un bout à l'autre elle prend une forme mathématique.*

passando por uma abordagem eminentemente matemática e, portanto, lançando mão de entidades incapazes de existir tais quais no mundo real, entidades matemáticas produzidas pelo esforço de reflexão da razão e durante este esforço. São entes de razão com fundamento no real, fundados sobre comportamentos reais da natureza, frutos de reflexão a partir de quantidades realmente existentes na natureza, no objeto real de estudo do físico. Entretanto, estes entes de razão usados para tentar obter alguma compreensão dos fenômenos naturais observados em seres reais permanecem totalmente entes de razão, entidades incapazes de existir no mundo real e que não possuem valor ontológico intrínseco algum.

A física matemática se afasta da essência das coisas e do interior substancial delas para se voltar em direção à ordem delas e de suas ligações matemáticas bem como em direção à estrutura funcional e matemática delas.¹⁶ (CASSIRER, 1906-1907, p. 530 apud DAUJAT, 1946, p. 106, tradução nossa)

O físico-matemático fará uso destes entes de razão para formular suas teorias e explicações? Sim, mas estará sempre advertido pela sua própria inteligência de que lança mão de um recurso destituído de existência real. Assim, o físico tomará suas precauções para não se deixar enganar, numa espécie de platonismo que viesse se introduzir sorrateiramente, conferindo existência de fato, no objeto estudo, daquilo que apareceu durante a reflexão do cientista como fruto do esforço da inteligência de lidar com uma matematização do objeto real estudado.

As considerações do físico são abstrações matemáticas que a inteligência extraiu do real, porque os corpos possuem uma propriedade real, a sua extensão, suas dimensões quantificáveis, a posição relativa das partes reais dos corpos reais estudados pelo físico, enfim, são substâncias (primeira categoria de Aristóteles) dotadas de quantidade (segunda categoria de Aristóteles e o primeiro dos acidentes). Este acidente real das substâncias materiais, a quantidade, era considerada pelo filósofo da natureza (o físico peripatético) em sua relação direta com a substância na qual se encontra.

Mas o físico-matemático dará um passo a mais, e por um ato de abstração, se separação da matéria, fará com que estas quantidades sejam separadas das substâncias em que se encontram e as colocará diante de si como um universo à parte, e começará a trabalhar

¹⁶ (...) *la physique mathématique se détourne de l'essence des choses et de leur intérieur substantiel pour se tourner vers leur ordre et leur liaison numérique ainsi que vers leur structure fonctionnelle et mathématique.*

com as quantidades elas mesmas, com as relações quantitativas elas mesmas, e que poderão chegar a ser tão somente relações lógicas puramente formais, a respeito das quais Bertrand Russell chegou a afirmar com humor que ao serem estudadas se ignora do que se diz e não se sabe se o que se diz é verdade, porque lhes falta um conteúdo objetivo, sendo eles puros entes matemáticos de razão.

O físico moderno faz uma leitura, uma exegese, matemática dos seres reais estudados, porque ele olha para a quantidade, este primeiro acidente real dos corpos materiais, e os apreende matematicamente em um grau de abstração e de imaterialidade maiores do que o faz o filósofo da natureza. Os conceitos das teorias físicas exprimem o que há de quantitativo do real físico e dão acesso à uma região de inteligibilidade que é de ordem matemática.

Os físicos modernos e contemporâneos abstraem as quantidades presentes no objeto real estudado e trabalham com estas quantidades e suas relações. Com efeito, há muitos modos da inteligência procurar adentrar no real, o qual possui muitos aspectos inteligíveis que a ciência procura descobrir, o que torna nossa ciência do real possível e fundamentada, ainda que sempre limitada e sempre suscetível de progresso. Há vias variadas de entrar no real e de conhecê-lo, e um destes caminhos de entrada no mundo real pela inteligência é pelo caminho da quantidade, pelo qual se procura olhar nos seres reais o que há de quantitativo para se chegar a uma inteligibilidade de ordem matemática.

Este é o caminho escolhido pela física moderna. Caminho legítimo, uma vez que há quantidades em todos os seres reais naturais, substâncias materiais. Porém, o físico não conhecerá toda a realidade física, mas conhecerá ao menos um dos aspectos do mundo real. Como diz Pierre Duhem (DUHEM, 1906, p. 77, tradução nossa),

o espírito analisa um número imenso de fatos particulares, concretos, diversos, complicados, e o que ele vê neles de comum e de essencial, eles os resume em uma lei, isto é, em uma proposição geral unindo noções abstratas.¹⁷

¹⁷ *L'esprit analyse un nombre immense de faits particuliers, concrets, divers, compliqués, et ce qu'il voit en eux de commun et d'essentiel, il le résume en une loi, c'est-à-dire en une proposition générale reliant des notions abstraites.*

A lei procura, portanto, em um fato real complexo o comportamento simples de uma natureza inteligível. Henri Poincaré (POINCARÉ, 1902, p. 464, tradução nossa) nota esta característica da ciência física matemática ao dizer:

O que há de mais complicado do que os movimentos perturbados dos planetas, e o que há de mais simples do que a lei de Newton?¹⁸

Jean Daujat (DAUJAT, 1946, p. 14-15, tradução nossa), o qual dedicou grande parte de seus estudos à compreensão filosófica das teorias físicas modernas e contemporâneas, ele mesmo formado em Matemática, seguindo depois uma formação filosófica neo-escolástica sob a condução de Jacques Maritain, exemplifica o modo de proceder da física matemática atual:

Tomemos um exemplo e escolhamos algo tão clássico quanto possível: a lei da queda dos corpos. Porventura é um fato real que a queda seja um movimento uniformemente acelerado? Evidentemente não, pois nenhuma queda real é assim exatamente. Uma queda real é influenciada pela resistência e os movimentos do ar: a enunciação das leis faz abstração disso. Sem dúvida se tomará precaução de dizer que a queda ocorre no vácuo, mas essa precaução, além do fato de que ela nos afasta dos fenômenos apresentados pela natureza sem nossa intervenção, é em todo rigor irrealizável, o vácuo perfeito é tão irreal quanto o gás perfeito ou o fenômeno perfeitamente reversível ou o sólido estritamente indeformável. Além disso, a lei só considera a atração da Terra; ora, a Lua, o Sol e todos os astros têm também sua influência sobre o movimento do mais ínfimo corpo com seu peso. No mais, não existe corpo que não tenha um certo magnetismo e o movimento de queda será ainda modificado pelo campo magnético. Portanto, a lei não considera a queda real, mas o movimento teórico e ideal que ocorreria se o peso se determinasse por si mesmo sozinho: o olhar do físico isola, separa do movimento real o que é devido ao peso e ele enuncia o que o peso produz, ele enuncia a lei de uma natureza inteligível e abstrata que ele chama de peso.¹⁹

¹⁸ *Quoi de plus compliqué que les mouvement troublés des planètes, quoi de plus simple que la loi de Newton?*

¹⁹ *Prenons un exemple, et choisissons-le aussi classique qu'il se peut : la loi de la chute des corps. Est-ce un fait réel que la chute soit un mouvement uniformément accéléré? Évidemment non, car aucune chute réelle n'est exactement telle. Une chute réelle est influencée par la résistance et les mouvements de l'air : l'énoncé de la loi en fait abstraction. Sans doute prendra-t-on la précaution de dire que la chute a lieu dans le vide, mais cette précaution, outre qu'elle nous éloigne des phénomènes présentés par la nature sans notre intervention, est en toute rigueur irréalisable, le vide parfait est aussi irréel que le gaz parfait ou le phénomène parfaitement réversible ou le solide strictement indéformable. De plus la loi ne considère que l'attraction de la Terre; or la Lune, le Soleil et tous les astres ont aussi leur influence sur le mouvement du plus minime corps pesant. Puis il n'existe pas de corps qui n'ait un certain magnétisme et le mouvement de chute sera encore modifié par le champ magnétique. Ce n'est donc pas la chute réelle que la loi considère, mais le mouvement théorique et idéal qui aurait lieu si la pesanteur seule le déterminait : le regard du physicien isole, sépare du mouvement réel ce qui est dû à la pesanteur et il énonce ce que produit la pesanteur, il énonce la loi d'une nature intelligible et abstraite qu'il appelle la pesanteur.*

A respeito deste modo de estudar os corpos encontramos em Santo Tomás de Aquino (*In de Coelo et Mundo*, lib. I, lect. 3, n. 6; lib. III, lect. 3, n. 4) uma consideração de grande importância:

Mas é necessário dizer que a ciência que provém da adição a uma outra utiliza os princípios desta última para demonstrar, como a geometria utiliza os princípios da aritmética: a grandeza, com efeito, acrescenta ao número a posição, e daí o ponto é dito ser uma unidade tendo uma posição. Igualmente, o corpo natural acrescenta a matéria sensível à grandeza matemática. E por esta razão não é inconveniente para a física utilizar princípios matemáticos nas suas demonstrações. (...) Os entes matemáticos são assim chamados devido à abstração a partir dos corpos naturais; ora, os corpos naturais têm uma relação de adição aos entes matemáticos, pois eles acrescentam aos entes matemáticos a natureza sensível e o movimento deles, em relação aos quais os entes matemáticos são separados; e assim é evidente que aquelas coisas que são próprias aos entes matemáticos são conservadas nos entes naturais, mas não o contrário.²⁰ (AQUINO, 2008, tradução nossa)

Deste modo, o físico que estuda a natureza pode usar princípios e recursos matemáticos nas suas demonstrações e teorias, e na física matemática moderna este emprego de princípios e de entes matemáticos lhe é essencial, correspondendo ao tipo epistemológico que os antigos chamavam de *ciências intermediárias* (*scientiae mediae*), ciências que se apoiam sobre a ordem física e sobre a ordem matemática, que são materialmente físicas e formalmente matemáticas.

2.2.4 A noção de força em física matemática

A partir destas considerações podemos fazer um juízo mais lúcido a respeito do que seriam as forças físicas enquanto elementos que compõem as teorias científicas.

²⁰ *Sed dicendum quod scientia quae se habet ex additione ad aliam, utitur principiis eius in demonstrando, sicut geometria utitur principiis arithmeticae: Magnitudo enim addit positionem supra numerum, unde punctus dicitur esse unitas posita. Similiter autem corpus naturale addit materiam sensibilem supra magnitudinem mathematicam: et ideo non est inconueniens si naturalis in suis demonstrationibus utatur principiis mathematicis. (...) Mathematica dicuntur per abstractionem a naturalibus; naturalia autem se habent per appositionem ad mathematica (superaddunt enim mathematicis naturam sensibilem et motum, a quibus mathematica abstrahunt); et sic patet quod ea quae sunt de ratione mathematicorum, salvantur in naturalibus, et non e converso.*

Todo físico que estuda a natureza tem a convicção de que observa seres realmente existentes, procurando se instruir a partir da própria natureza fora de seu mundo mental, objetivamente existentes. Não somente isto, mas ainda tem a firme convicção de que o mundo é compreensível para nós, para a inteligência humana. As dificuldades que encontra ao longo dos seus trabalhos, as lacunas que o intrigam, tudo é visto como um esforço da reflexão humana para retirar um véu que está sobre uma verdade presente já ali, muito antes da pesquisa começar, tudo isso movido pela paixão de conhecer a verdade das coisas.

Todo o valor da ciência vem não de uma necessária utilidade prática, mas de um enriquecimento constante da inteligência porque conhece o real. Este enriquecimento é conquistado ao preço de uma constante docilidade da nossa inteligência ao real. Não somente nosso conhecimento é enriquecido ao ser dócil à realidade, que o obriga a se corrigir sem parar, como também estas correções abrirão um caminho antes desconhecido para uma nova fatia da realidade cheia de fenômenos até então ignorados. A inteligência corrigirá a lei da propagação retilínea da luz, por exemplo, e com isso uma porta nova se abrirá diante do físico. O físico é como um arqueólogo do real e, de descoberta em descoberta, prevê fenômenos novos que se realizarão.

Nas palavras de Bachelard,

O mundo resiste sempre e o esforço matematizante deve se corrigir, se acomodar [aos novos dados], se retificar. Mas ele se retifica se enriquecendo.²¹ (BACHELARD, 2008, p. 249, tradução nossa)

Se, como explicamos acima, a física moderna e contemporânea é uma ciência materialmente física e formalmente matemática, então um exame atento desta ciência física atual nos leva a concluir que o universo da física moderna é um universo de noções abstratas de ordem matemática. A ciência física moderna se debruça sobre a abstração que ela obtém pela atividade da inteligência humana, formando para si um conjunto de entes matemáticos de razão que, unidos aos entes reais estudados, constituirá o seu sistema de explicação para os fenômenos observados. Este universo matemático está contido no mundo real, é abstraído dele, porque é um mundo de seres reais materiais, dotados de quantidade, e pela mensuração e pelo cálculo o físico extrai

²¹ *Le monde résiste toujours et il faut que l'effort mathématisant se reprenne, s'assouplisse, se rectifie. Mais il se rectifie en s'enrichissant.*

do universo real, pela atividade da inteligência, entes matemáticos sobre os quais trabalha. A física moderna procura adentrar no real matematizando-o.

Deste modo, o que a física moderna denomina *força* é uma quantidade (um vetor) que ela encontra tanto no peso, como na eletricidade, como nas partículas elementares da matéria. Ao aplicar o conceito matemático de força à gravidade e à eletricidade, a Física engloba o que há de quantificável nestas duas realidade muito diversas, sem se preocupar qual é a verdadeira natureza destas ações que corpos muito diferentes exercem uns sobre os outros. Isto não quer dizer que ela não tenha acesso a nada do real, que seja incapaz de conhecer de fato algo da realidade. Nas palavras brilhantes de Daujat,

Alguns autores contemporâneos afirmaram que a teoria física não nos ensinaria nada mais sobre o mundo real além do que uma série de números de vestiários sobre as roupas ali penduradas, ela constituiria uma simples identificação, um simples sistema de sinais, uma espécie de linguagem, e não um conhecimento. Essa comparação é absolutamente falha, uma vez que a atribuição dos números dos vestiários é puramente arbitrária e convencional. Ela teria um valor se os números dos vestiários correspondessem a algo real nas roupas, por exemplo, as designasse por seus tamanhos. Um tamanho não nos dá a conhecer toda a realidade da peça de roupa, não nos diz de que tecido é feita, mas nos ensina algo que realmente pertence à peça de roupa (e que é precisamente de ordem quantitativa), é verdadeiramente um conhecimento. Podemos comparar o conhecimento do mundo pela física não à identificação de roupas por seus números de vestiário, mas ao conhecimento das roupas por seus tamanhos.²² (DAUJAT, 1946, p. 132-133, tradução nossa)

A Física atual observa certas ações pelas quais corpos agem sobre outros: massa sobre massa, um elétron sobre outro, um próton sobre um elétron, e outras partículas mais elementares umas sobre as outras. Ela observa estas ações mútuas procurando ter acesso a elas pela via da quantidade, semelhante a um geógrafo que percorresse a superfície de um terreno e anotasse, dentre todas as informações possíveis que este terreno pode lhe

²² *Certains auteurs contemporains ont prétendu que la théorie physique ne nous apprenait rien de plus sur le monde réel qu'une série de numéros de vestiaire sur les vêtements qui y sont accrochés, elle constituerait un simple repérage, un simple système de signes, une sorte de langage, et non une connaissance. Cette comparaison est absolument déficiente tant que l'attribution des numéros de vestiaire est purement arbitraire et conventionnelle. Elle prendrait une valeur si les numéros de vestiaire correspondaient à quelque chose de réel dans les vêtements, par exemple les désignaient par leurs pointures. Une pointure ne nous fait pas connaître toute la réalité du vêtement, elle ne nous dit pas de quelle étoffe il est fait, mais elle nous apprend quelque chose qui appartient réellement au vêtement (et qui justement est de l'ordre quantitatif), elle est véritablement une connaissance. On peut comparer la connaissance du monde par la physique, non au repérage des vêtements par leurs numéros de vestiaire, mais à la connaissance des vêtements par leurs pointures.*

dar, somente a curvatura dos níveis do terreno, organizando estas informações para depois trabalhar somente sobre elas, e não sobre todas as informações possíveis de serem obtidas daquele terreno estudado. O geógrafo, finalmente, se debruçará sobre estes dados quantificáveis, e conhecerá o que é quantificável daquele objeto real estudado, a saber, as medidas topográficas. Do mesmo modo, o físico moderno retém do universo tudo o que é quantificável, a quantidade obtida por um trabalho de abstração da inteligência sobre o real.

O ente de razão propriamente dito *é aquele que pode ter ser somente no intelecto*. Ele pode ser de dois modos:

fundamentado na ordem real (em absoluto), o qual, de fato, por um motivo, fundamento ou ocasião especial, é produzido pelo intelecto; p. ex., *a humanidade* enquanto abstrata, fundamentada na essência *real* do homem.

não fundamentado, o qual não tem nenhum motivo como estes elencados: por exemplo, um *círculo quadrado*.²³ (SALCEDO, 1957, p. 525, tradução nossa)

É por este processo de consideração sobre o real que o físico obtém a noção, o conceito de *força*.

Uma *força*, portanto, em Física matemática, a Física que nós conhecemos atualmente, é um ente matemático de razão com fundamento no real ou, no vocabulário próprio da escolástica, um *ens rationis cum fundamento in re*.

Esta é a razão pela qual se observa que, ao ser aplicada de volta nos entes reais, pelo engenheiro, por exemplo, por um processo de retorno ao real, a noção de força será muito bem sucedida. Porque, apesar de ser um ente matemático abstrato, ela foi extraída do real, e ao retornar ao real por meio de uma aplicação prática, na engenharia, na medicina, na astronomia, ela terá resultados eficazes.

Podemos fazer uma comparação para ilustrar este ponto. Podemos tomar como exemplo o caso referido mais acima (2.2.2), de um objeto esférico que estivesse à direita de uma pessoa. Quando temos um objeto esférico à direita de alguém e dizemos que esta pessoa está à esquerda deste objeto, sendo que o mesmo não possui lado algum, muito menos lado esquerdo, o único lado real, que existe realmente, é o lado direito da pessoa

²³ *ENS RATIONIS, proprie dictum, illud est, quod tantum in mente esse habere potest. Adhuc autem duplex esse potest:*

fundatum in ordine reali (absoluto), quod, nempe, speciali motivo, fundamento vel occasione a mente producitur; v. gr. humanitas ut abstracta, fundatur enim in essentia reali hominis; non fundatum quod nullum tale motivum habet; sic, circulus quadratus.

considerada aqui. A esfera não possui lado real algum. A esfera não possui lado esquerdo. Nestas condições, ao afirmar que a esfera se encontra à direita da pessoa, estamos afirmando a existência real de uma relação entre corpos, pois realmente a pessoa aqui tem um lado direito real. Por sua vez, considerar que a esfera tenha um lado esquerdo e, portanto, afirmar que a pessoa esteja do lado esquerdo da esfera, é trabalhar com um ente de razão, e estabelecer uma relação de razão, que ganha existência por causa de um ato de reflexão do intelecto, o qual atribui existência, na esfera, de um lado esquerdo que realmente não existe, sendo um puro ente de razão. Apesar disso, é perfeitamente possível afirmar que a pessoa está à esquerda da esfera, porque apesar de ser um ente de razão, a consideração de um lado esquerdo na esfera toma seu fundamento em um lado direito real na pessoa colocada em relação de posições com a esfera. Aqui, também, o lado esquerdo na esfera será um ente de razão com fundamento no real, um *ens rationis cum fundamento in re*. E, assim, será perfeitamente possível considerar a esquerda desta esfera como uma referência de posições para se localizar no espaço, porque por debaixo deste ente de razão sem existência alguma no mundo real, está a existência real de outra referência relativa, a direita da pessoa, salvaguardando-se, desta forma, uma aplicabilidade real de um ente de razão.

Por esta mesma razão é que muitos entes matemáticos de razão, absolutamente inexistentes no mundo real, como raízes quadradas de números negativos e números complexos, possuem uma aplicabilidade prática que se estende eficazmente ao estudo de muitos fenômenos reais, como mecânica dos fluidos, o comportamento aerodinâmico de carros e aviões, o estudo energético de átomos e moléculas e a mecânica quântica, sendo aptos a um uso que visa a produção de resultados reais em seres reais.

Quanto ao que nos interessa, o uso da noção matemática de *força* e sua aplicabilidade bastante precisa e específica a casos concretos, com forças dotadas de direção, sentido e intensidade, será possível porque são entidades matemáticas que, apesar de abstrações da razão, tiram seu fundamento de propriedades reais de um ser real concretamente analisado. Por debaixo deste ente matemático de razão, que é a noção de *força*, sem existência alguma no mundo real tal qual concebida pela matemática, está a existência real de propriedades reais quantificáveis (ações causais reais desta ou daquela natureza, movimentos reais, qualidades reais passíveis de quantificação, etc.) de seres reais que salvaguardam, desta forma, uma aplicabilidade real da noção de *força* enquanto instrumento teórico, ainda que, em si mesma, seja um ente de razão.

Uma força não é uma pura construção abstrata sem qualquer fundamento em eventos reais, em dados concretos. Se, enquanto elemento de uma teoria físico-matemática, uma força é, em si mesma, um ente de razão, por outro lado há de fato algo que acontece realmente no ser real estudado pelo físico e que é aquilo que se procura conhecer finalmente, usando como instrumento todo um conjunto de entes matemáticos de razão. De fato há fenômenos reais, e são eles que dão o fundamento para que a inteligência, ao estudá-los, recorra a entes de razão, se necessário. e, para o físico moderno e contemporâneo, a noção de força é um destes entes.

2.3 Algumas considerações sobre partículas atômicas

2.3.1 Breve introdução

Creemos que algumas considerações sobre o que conhecemos dos átomos, das partículas que os compõem, das interações entre elas, tais como explicados pela física contemporânea, sejam úteis para uma maior compreensão da noção de *força* em Física moderna e contemporânea, tema principal deste trabalho.

O átomo já havia sido pensado por antigos filósofos gregos seis séculos antes de Cristo. Mas Aristóteles, o principal adversário do atomismo de Leucipo e Demócrito entre os filósofos da Antiguidade, refutou o sistema atomista em muitos pontos com sucesso, deixando-o sem expressão até o final do século XVI e começo do século XVII.

A época propriamente científica da teoria atômica começará com os esforços de Higgins e Dalton. O período anterior, abarcando mais de vinte séculos, é simplesmente pré-científico. As leis ponderais da Química (leis de Lavoisier, de Ostwald, de Proust, de Dalton, de Berzelius, e várias outras) encontram todas sua explicação na teoria atômica.

A teoria de Dalton, publicada em 1808, e logo aperfeiçoada por Avogadro e Ampère (1775-1835), C. Gerhardt e C. Cannizzaro (1826-1910) não possui nada que não seja razoável, não se apresenta com pretensões transcendentais, não procede *a priori*, mas nasce espontaneamente de um conjunto de fatos bem palpáveis e *quantitativamente* estudados.²⁴ (RIAZA, 1953, p. 65-66, tradução nossa).

²⁴ *La teoría de Dalton (1808), perfeccionada luego por A. Avogadro y A. M. Ampère (1775-1835), C. Gerhardt, S. Cannizzaro (1826-1910) no contiene nada que no sea razonable, no se presenta con*

Desde então, todos os fatos conhecidos, obtidos por experimentação criteriosa, confirmam a hipótese da constituição atômica e molecular dos corpos. Tanto confirmações positivas, ou seja, fatos reais, têm tanta importância que, de acordo com muitos cientistas, são propriamente uma demonstração indireta dos postulados da teoria atômica, quanto confirmações negativas, isto é, a ausência de fatos que não se encaixam com a teoria atômica. A teoria atômica de Dalton foi o começo do surgimento de mais e mais frutos com o passar do tempo: a descoberta de novos elementos químicos, a determinação do peso atômico, a enunciação de fórmulas moleculares, regras para combinação e separação de substâncias, o estudo geral de propriedades físicas e químicas dos mais diversos elementos. Os laboratórios químicos tiveram um desenvolvimento surpreendente desde então, juntamente com a indústria química e modernas fábricas de produtos químicos e seus derivados. Todos estes resultados serviram de confirmação para a teoria atômica, sendo esta aceita unanimemente pelos cientistas, e sua recusa mostrando-se infundada e destituída de razoabilidade.

Ao final do século XIX se pensava que o átomo era indivisível, imutável, até a descoberta da radioatividade por Becquerel em 1896. Esta é a emissão, por certas espécies de átomos, de partículas (raios α e β) ou ondas eletromagnéticas (raios γ). Ernest Rutherford terá um papel decisivo no esclarecimento da radioatividade, transmutando um elemento em outro e estudando a meia-vida dos elementos radioativos.

Ao longo de todo o século XX, muitas descobertas foram feitas no que toca a composição do átomo. Estas descobertas foram pouco a pouco estabelecendo um modelo padrão (*Standard model*).

Um estudo detalhado dos raios cósmicos e o surgimento dos primeiros aceleradores de partículas determinaram um rápido avanço em nossa compreensão das partículas elementares no período de 1930-1960, quando uma infinidade de novas partículas foi descoberta. O modelo-quark, que logo se seguiu, permitiu organizar a maioria dessas partículas em um esquema significativo. No período de 1960-1980, o chamado “Modelo Padrão” de partículas elementares e de interação fundamental foi desenvolvido, fornecendo uma maneira de descrever todas as partículas e interações conhecidas dentro de uma única estrutura teórica. O Modelo Padrão alcançou um sucesso extraordinário com uma série de descobertas experimentais nos anos 70, que confirmaram totalmente as previsões teóricas do Modelo - às

pretensiones trascendentales, no procede a priori, sino que brota espontáneamente de un conjunto de hechos bien palpables y cuantitativamente estudiados.

vezes com um grau espetacular de precisão: observação de "correntes neutras" com o detector Gargamelle no CERN (Genebra) e a descoberta do quark beauty no Fermilab (EUA), seguida pela produção das partículas responsáveis pela interação fraca, W e Z, obtidas em 1983 no CERN por um grupo de pesquisa liderado pelo italiano Carlo Rubbia. Nos anos 90, a descoberta do quark top no Fermilab representou um marco para a Física de Partículas: todos os seis quarks previstos pelo Modelo Padrão já haviam sido observados experimentalmente. Simultaneamente, no grande anel de acumulação de prótons e elétrons do CERN (LEP), muitas medições de alta precisão foram realizadas, todas em perfeita concordância com as previsões teóricas correspondentes.²⁵ (COSTA, 2019, tradução nossa)

De acordo com o modelo padrão (*Standard model*), prótons e nêutrons são constituídos, cada um, por 3 quarks (KNEUBIL e ROBILOTTA, 2013, p. 156-160). Os quarks nunca são encontrados isoladamente, mas sempre unidos em pares ou trios. A união entre os quarks é realizada pelos glúons. As interações da força nuclear forte ocorrem por meio dos glúons. Os quarks foram previstos por meio de cálculos antes de serem, efetivamente, encontrados de modo experimental.

Glúons realizam interações de muito curto alcance, limitados ao interior do núcleo atômico, enquanto que fótons, responsáveis pela transferência de energia entre elétrons, realizam interações de longo alcance, têm grande longevidade e podem percorrer distâncias imensas no universo.

Os glúons são responsáveis pela imensa força capaz de manter o núcleo atômico estável, compensando a repulsão dos prótons. A primeira teoria física relevante buscando uma resposta para este problema foi estruturada pelo físico japonês Hideki Yukawa (1907-1981). Ele considerava que não observamos no mundo macroscópico os efeitos das interações entre as partículas dos núcleos atômicos e que, portanto, seu raio de ação

²⁵ *A detailed study of cosmic rays and the appearance of the first particle accelerators determined a swift advancement of our understanding of elementary particles in the 1930-1960 period, when a multitude of new particles were discovered. The quark model, which soon followed, allowed to organize most of those particles into a meaningful scheme. In the 1960-1980 period the so-called "Standard Model" of elementary particles and fundamental interaction was developed, providing a way to describe all known particles and interactions within a single theoretical framework. The Standard Model attained extraordinary success with a number of experimental discoveries in the '70s, which fully confirmed the theoretical predictions of the Model - sometimes to a spectacular degree of accuracy: observation of "neutral currents" with the Gargamelle detector at CERN (Geneva) and discovery of the beauty quark at Fermilab (USA), followed shortly thereafter by the production of the particles responsible for the weak interaction, W and Z, obtained in 1983 at CERN by a research group led by an Italian, Carlo Rubbia. In the '90s the discovery of the top quark at Fermilab represented a milestone for Particle Physics: all six quarks predicted by the Standard Model had now been experimentally observed. Simultaneously, at the large accumulation ring for protons and electrons of CERN (LEP), many high-precision measurements were performed, all in perfect agreement with the corresponding theoretical predictions.*

deveria ser limitado às partículas do núcleo atômico. Além disso, parece haver um limite do diâmetro do núcleo de um átomo. Todo núcleo atômico maior do que o do átomo de chumbo é instável, o que sugere um limite além do qual a força nuclear forte não exerce sua ação de modo adequado, não mantendo mais o núcleo unido.

Em 1964, Murray Gell-Mann (1929-2019) e George Zweig (1937-) apresentaram a hipótese de que os nêutrons fossem compostos por partículas ainda mais fundamentais, às quais deram o nome de quarks. Presentes nos prótons e nêutrons sempre formando um conjunto de 3, os quarks estão sempre unidos por causa da força nuclear forte. Em outras partículas, os *mésons*, o modelo previa uma combinação de dois quarks. Estas combinações foram finalmente detectadas em experimentos feitos em aceleradores de partículas, dando sustentação ao sistema teórico dos quarks.

O fato de que um quark nunca foi detectado isoladamente levou Murray Gell-Mann a pensar que talvez quarks não fossem partículas reais, mas somente construções matemáticas. Entretanto, este fenômeno é explicado pela imensa capacidade que os glúons têm de confinar os quarks dentro dos prótons e nêutrons, e se uma quantidade imensa de energia for empregada, capaz de expulsar um quark do núcleo atômico, a energia liberada termina por produzir um novo quark no núcleo atômico, e um anti-quark que faz par com aquele que foi liberado, constituindo um meson-pi, o mediador da força nuclear forte entre prótons e nêutrons, causando atração entre eles. A imensa energia necessária para expulsar um quark para fora de um próton, uma energia que deve ser capaz de criar ao menos dois novos quarks, explica a razão pela qual um quark nunca é observado sozinho.

2.3.2 A reflexão da inteligência no estudo dos átomos

Até aqui temos insistido que a inteligência humana realiza um processo abstrativo sobre os seres reais e que, pela abstração, a inteligência conhece um tanto do que pertence ao real, já que abstrair é, também, cortar, retirar, negligenciar. Ela conhece as essências, as naturezas das coisas, faz com isto juízos sobre propriedades essenciais, afirmações universais, separando da matéria individual e concreta as suas considerações.

A inteligência abstrativa, portanto, conhece alguma coisa que pertence ao real e que não se manifesta diretamente aos sentidos, mas que está localizada muito mais profundamente no real do que o que aparece aos sentidos.

Quando dizemos que um objeto é amarelo, estamos na verdade falando de uma impressão visual relacionada a uma propriedade da luz que chegou até nossos olhos (aqui está o que aparece aos sentidos) mas a inteligência descobre neste fenômeno algo mais profundo que isso: uma certa constituição do material daquele objeto, na sua superfície, que não é por si mesma, diretamente, visível. O que a inteligência descobre, ao pensar sobre este fenômeno, é que naquele objeto está presente uma determinada qualidade que produz como efeito uma certa reflexão da radiação incidente sobre a superfície dele, de modo a produzir no olho humano (mais ainda, no processamento final efetuado no sistema nervoso central) uma sensação visual característica, denominada "amarelo". O olho vê a cor amarela, mas a inteligência descobre ali, pelo estudo e pela consideração mais profunda, uma certa propriedade de reflexão da luz.

A matéria, por ela mesma, é incapaz de afetar nossos sentidos de modo direto. Falando com rigor, nossas sensações resultam de fenômenos físicos que tem origem na matéria dos seres. Estritamente falando, não vemos o Sol, mas os fenômenos que se produzem no Sol.

Também devemos ter muito claramente diante dos olhos que o físico estuda os seres reais por meio de técnicas, experiências, equipamentos, que lhe conferem um certo acesso ao real. Este acesso ao real será limitado pelos próprios recursos científicos que o físico terá à sua disposição. Os resultados dos testes feitos, das experiências realizadas, serão proporcionais ao estudo realizado. É possível comparar o físico, bem como todo cientista, a um detetive que fará a natureza passar por um interrogatório, em vista de obter respostas. Porém, a natureza, os seres reais, dão um retorno de maneira muito lacônica, só respondendo aquilo que foi estritamente perguntado, não mais.

Desta forma, se o físico faz buscas daquilo que, em um ser, é da ordem do estritamente quantificável, e não mais, obterá dados da ordem do estritamente quantificável somente. A consequência é que uma grande parte de propriedades reais daquele ser permanecerão ainda nas sombras do conhecimento. Com estes dados limitam-se à ordem da quantidade, que é somente uma das dez categorias de Aristóteles, outras nove permanecerão não investigadas devidamente. Um físico que estruturasse uma teoria

científica explicativa com base nestes dados obtidos deverá ter consciência lúcida dos limites da sua teoria, de que ela leva em grande consideração os dados quantitativos, ao mesmo tempo que ignora, ou considera insuficientemente, outras nove das dez categorias do ser real de Aristóteles, deixando assim uma imensa porção do real excluída, ou pelo menos bastante negligenciada, dos seus estudos.

Estes esclarecimentos são importantes para apresentarmos aqui algumas considerações escolásticas sobre os átomos tais como são vistos pelas teorias físicas mais recentes, incluindo aquelas que foram sendo estruturadas ao longo do século XX, ainda que já ultrapassadas. Considerações que nos permitirão compreender ainda melhor o conceito de *força*, estudado neste trabalho.

Assim, nas palavras de Louis de Broglie,

(...) imagens simples como aquelas de corpúsculo, de onda, de ponto bem localizado no espaço, de estado de movimento perfeitamente definido são, em suma, abstrações, idealizações... As idealizações mais ou menos esquemáticas que nosso espírito constrói são suscetíveis de representar certas faces das coisas, mas elas comportam limites e não podem conter em seus limites rígidos toda a riqueza da realidade.²⁶ (DE BROGLIE, 1936, p. 23, tradução nossa)

A riqueza superabundante do real não é compreendida em toda a sua profundidade por uma ciência só, muito menos quando esta ciência aborda o real sob um aspecto bastante restrito diante de todas as modalidades possíveis de estudo. A pluralidade de aspectos a serem estudados faz com que uma ciência obtenha conquistas ao mesmo tempo que surgem novas obscuridades. Os próprios métodos que uma ciência utiliza para conseguir abordar um aspecto do objeto estudado permite ter uma luz bastante tênue do mesmo, de modo que nossa inteligência procede, nas palavras de Jean Daujat, seguindo um caminho de "claro-escuro perpétuo":

Nosso conhecimento intelectual tem a beleza de um *claro-escuro* perpétuo: ele faz avançar no interior do real uma zona de clareza que caminha entre as regiões de sombra, regiões estas tão mais vastas

²⁶ (...) *des images simples comme celles de corpuscule, d'onde, de point bien localisé dans l'espace, d'état de mouvement parfaitement défini sont en somme des abstractions, des idéalizations... Les idéalizations plus ou moins schématiques que notre esprit construit sont susceptibles de représenter certaines faces des choses mais elles comportent des limites et ne peuvent contenir dans leurs cadres rigides toute la richesse de la réalité.*

quanto mais a clareza penetra mais profundamente.²⁷ (DAUJAT, 1946, p. 100-101, tradução nossa)

O conhecimento humano caminha de verdade em verdade, de luz em luz. Mas esta luz, que para cada objeto em cada ciência é uma certa consideração sob um certo aspecto de uma certa característica de um objeto dado, bate em tantas propriedades e qualidades que não são adequadamente consideradas pela mesma luz da inteligência que ilumina outras. Luz e sombras, ou melhor, luz que projeta sempre alguma sombra em outras tantas partes do real, ao mesmo tempo em que o torna mais claro para nós.

Se é assim para o estudo de tantos seres que estão ao nosso alcance mais imediato, o que dizer, então, daquilo que um físico contemporâneo possa vir a saber de um objeto de estudo tão especial quanto o átomo?

O átomo do químico é agora uma realidade, mas isto não quer dizer que estamos perto de tocar os elementos últimos das coisas. Quando Demócrito inventou o átomo, ele os considerava como elementos absolutamente indivisíveis e além dos quais não há nada mais a buscar. É isto que o termo quer dizer em grego e é por isso, aliás, que ele os inventou, por de trás do átomo ele não queria mais nenhum mistério. O átomo do químico não o teria satisfeito, porque este átomo não é de modo algum indivisível, ele não é um verdadeiro elemento, ele não está isento de mistério, este átomo é um mundo... Cada nova descoberta da física nos revela uma nova complicação do átomo.²⁸ (POINCARÉ, 1913, p. 199, tradução nossa)

Afirmamos, assim, que as teorias físicas sobre os átomos nos dão um certo conhecimento do átomo real, mas sem esgotar sua totalidade, e que o conhecimento que o físico tem dele está diretamente relacionado às quantidades que ele extrai pela observação do átomo real por medições e cálculos. O átomo do físico contemporâneo é pesadamente devedor de um sistema de equações.

²⁷ *Notre connaissance intellectuelle a la beauté d'un clair-obscur perpétuel : elle fait avancer au sein du réel une zone de clarté qui chemine entre des zones d'ombre elle-mêmes d'autant plus vastes que la clarté pénètre plus profond.*

²⁸ *L'atome du chimiste est maintenant une réalité, mais cela ne veut pas dire que nous sommes près de toucher les éléments ultimes des choses. Quand Démocrite a inventé les atomes, il les considérait comme des éléments absolument indivisible et au delà desquels il n'y a plus rien à chercher. C'est cela que cela veut dire en grec et c'est d'ailleurs pour cela qu'ils les avait inventés, derrière l'atome il ne voulait plus de mystère. L'atome du chimiste ne lui aurait donc pas donné satisfaction car cet atome n'est nullement indivisible, il n'est pas un véritable élément, il n'est pas exempt de mystère, cet atome est un monde... Chaque nouvelle découverte de la physique nous révèle une nouvelle complication de l'atome.*

Ao longo de um período considerável do estudo científico, nos habituamos a imaginar o átomo como um corpúsculo sólido minúsculo, nos representando partículas elementares, elétrons, quarks e todas as outras partículas, bem como quanta e outras realidades identificáveis nos átomos, como sendo equiparáveis a objetos e interações que temos quotidianamente presente diante de nossos olhos, agora em escala extremamente pequena. Uma minúscula esfera ou a ação que uma mola produz ao ser liberada estão muito distantes de serem adequados para representar o que ocorre exatamente no interior de um átomo. Se faz necessária uma verdadeira ascese intelectual para não nos deixarmos levar pela imaginação de modo indevido nestas questões.

Podemos obter medições de fenômenos reais daquilo que ocorre com os átomos e trabalhar com estes dados, nos fazendo uma *certa* ideia de como o átomo deve ser, de características reais dos átomos, das partículas elementares, das interações entre elas. Partindo da mesma analogia que Jean Daujat faz com a atribuição de números a roupas, citada mais acima (DAUJAT, 1946, p. 132-133), poderíamos dizer que o físico age de modo semelhante a um alfaiate que trabalhasse com medidas obtidas, a partir das quais ele procura reproduzir uma roupa, sem, contudo, poder observá-la diretamente. Desconhece o exato material de que é feita a roupa original, e procura conceber a nova roupa como lhe é possível, a partir das medidas que tem.

Uma vez que nós vemos por meio da luz, nunca poderemos ver de que a luz é feita, qual é a sua constituição ou estrutura, e não poderemos nunca, igualmente, ver o interior de um átomo.²⁹ (DAUJAT, 1946, p. 162, tradução nossa)

Existe uma enorme, para não dizer completa, falta de adequação entre as noções e conceitos que usamos para abordar o estudo do átomo, das partículas elementares, das relações entre elas, porque são noções e conceitos tirados da nossa experiência quotidiana, mas transportados para a realidade intra-atômica.

Nossas noções de ondas e de corpúsculo tendem a exprimir, tanto uma como outra, algum aspecto do elétron; elas são, tanto uma como outra, deficientes porque ligadas à noção de espaço, quer dizer, ao domínio do imaginável. Somente são verdadeiras aqui as equações que nos fazem conhecer uma ordem ou uma estrutura de relações quantitativas no interior do intra-atômico: as realidades que recobrem estas quantidades permanecem para nós atualmente inconcebíveis. O átomo

²⁹ *Puisque nous voyons par la lumière, nous ne pourrons jamais voir de quoi la lumière est faite, quelle en est la constitution ou la structure, et de même nous ne pourrons jamais voir l'intérieur d'un atome.*

não é imaginável: ele é concebível e definível. O elétron é inconcebível e indefinível no estado atual da ciência; ele só é determinável por certas relações quantitativas permitindo um conhecimento matemático, ele mesmo estritamente limitado pelas relações de incerteza de Heisenberg.³⁰ (DAUJAT, 1946, p. 163, tradução nossa)

Como insistimos muitas vezes ao longo deste trabalho, há um átomo real, mas os modelos que o abordam são de ordem essencialmente matemática.

2.3.3. Breves considerações sobre realidade da força nuclear forte e da força eletromagnética

Todas estas considerações nos permitem apresentar certas questões a respeito de elementos presentes no atual modelo atômico apresentado pela Física contemporânea e vê-los com mais nuances, sob a luz dos princípios da Escolástica. Apresentaremos aqui algumas considerações, na medida em que nos ajudarão a compreender melhor algumas características da força nuclear forte e, conseqüentemente, da noção mesma de *força*.

Creemos ser importante lançar um olhar para o que a Física diz a respeito do núcleo atômico, mais exatamente sobre o papel dos quarks na composição dos prótons e nêutrons, na medida em que isso possa nos ajudar a refletir sobre a força nuclear forte, ainda que brevemente, e também sobre os fótons e elétrons, no que tange a força eletromagnética.

Mais acima falamos que um quark nunca foi detectado isoladamente, o que levou Murry Gell-Mann a pensar que talvez quarks não fossem partículas reais, mas somente construções matemáticas. Esta hesitação de Gell-Mann merece algumas considerações à luz de alguns princípios escolásticos.

³⁰ *Nos notions d'onde et de corpuscule tendent à exprimer l'une et l'autre quelque aspect de l'électron, elles sont l'une et l'autre déficientes parce que liées à la notion d'espace, c'est-à-dire au domaine de l'imaginable. Seules sont vraies ici les équations qui nous font connaître un ordre ou une structure de relations quantitatives au sein de l'intra-atomique : les réalités que recouvrent ces quantités nous demeurent actuellement inconcevables. L'atome n'est pas imaginable : il est concevable et définissable. L'électron est inconcevable et indéfinissable dans l'état actuel de la science, il n'est que déterminable par certaines relations quantitatives permettant une connaissance mathématique elle-même strictement limitée par les relations d'incertitude d'Heisenberg.*

Ao longo deste trabalho muito foi dito a respeito do uso, na Física contemporânea, de entes matemáticos de razão com fundamento no real. Falamos que a Física atual observa certas ações pelas quais corpos agem sobre outros, massa sobre massa, um elétron sobre outro, um próton sobre um elétron, e outras partículas mais elementares umas sobre as outras, observando estas ações mútuas e procurando ter acesso a elas pela via da quantidade, retendo o que é quantificável, a quantidade obtida por um trabalho de abstração da inteligência sobre o real.

Vimos que esta é a razão pela qual se observa que, ao ser aplicada de volta nos entes reais, por um processo de retorno ao real, o físico obterá sucesso caso sua teoria seja consistente e justa. Porque, apesar de fazer uso de muitos entes matemáticos abstratos, eles foram extraídos do real, e ao retornar ao real por meio de uma aplicação prática, ele terá resultados eficazes.

Deste modo, o sucesso extraordinário que o Modelo Padrão alcançou com uma série de descobertas experimentais nos anos 70, que confirmaram totalmente as previsões teóricas do Modelo, algumas vezes com um grau espetacular de precisão, serve de exemplo para ilustrar esta bem sucedida coordenação entre entes matemáticos de razão e entes reais nos modelos científicos atuais, na medida em que isso é possível.

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	

Este sucesso de predição do Modelo padrão proposto na MQ inclina a pensar que as partículas subatômicas que compõem este modelo têm existência real no interior das partículas em que estão previstas. Isto quer dizer que, *mais provavelmente, e ao menos*

isso, quarks e glúons estão de fato, real e atualmente, compondo prótons e nêutrons, e não são somente entes matemáticos de razão sem qualquer existência real, nem que passariam a existir somente com a destruição de um próton ou nêutron, não estando realmente na constituição física deles antes de estes serem destruídos.

Diremos, assim, que quarks e glúons são partes que constituem as partículas do núcleo atômico e sem as quais estas partículas não podem existir. São portanto parte essenciais:

Parte é uma realidade que se encontra no todo e na medida em que o constitui, e é menor que ele.

Uma parte pode ser *essencial* ou *integral*. Parte *essencial* é aquela que primeiro constitui a essência do todo, como são a alma e o corpo em relação ao homem; e faltando uma, o todo fica deficiente formalmente. Parte *integrante* é aquela que não constitui primeiramente a essência do todo, mas só faz com que ela se realize mais amplamente.³¹ (HELLÍN, 1959, p. 67, tradução nossa)

A mão de uma pessoa, por exemplo, não é uma parte essencial dela, mas integral. É necessária para a integridade física da pessoa, mas não lhe é essencial. Se o fosse, ao perder a mão, ela deixaria de ser um ser humano, o que não é o caso, evidentemente.

Do mesmo modo, ao que parece indicar o Modelo padrão usado em MQ, quarks e glúons são partes essenciais dos prótons e nêutrons, os constituindo realmente, não sendo uma abstração matemática ainda que fundamentada em fenômenos reais, nem se originam somente com a corrupção, isto é, com a destruição ou alteração de um próton ou nêutron.

O que nos interessa ao fazer estas considerações é que também poderemos dizer, mais provavelmente, no atual estado do nosso conhecimento em MQ, que as interações entre quarks são interações reais, mediadas e efetuadas por outras tantas partículas reais, os glúons, bem como as relações entre prótons e nêutrons por meio de mésons pi. E, assim, a força nuclear forte não seria tão somente um ente matemático de razão. O é enquanto parte de um sistema físico-matemático de explicação de um fenômeno observado experimentalmente, mas tem existência real enquanto interação atual entre partículas no núcleo atômico, mas cuja natureza específica é ainda uma questão bastante delicada de ser determinada.

³¹ *PARS est realitas quae est in toto ut illud constituens, et est minor illo. Pars potest esse essentialis et integralis. Pars essentialis est illa quae primo constituit essentiam totius ut sunt anima et corpus respectu hominis; et deficiente una, totum deficit formaliter. Pars integrans ets illa quae non primo constituit essentiam totius, sed solum confert ut illam faciat ampliorem.*

Estamos igualmente em condições de afirmar o mesmo quanto à força eletromagnética, isto é, de que as interações entre elétrons são interações reais, mediadas e efetuadas por outras tantas partículas reais, os fótons. De que a força eletromagnética não seria tão somente um ente matemático de razão, sem qualquer existência real. É um ente de razão enquanto parte de um sistema físico-matemático de explicação de um fenômeno observado experimentalmente, uma quantidade matemática, mas que tem existência real enquanto interação atual entre partículas no núcleo atômico e cuja natureza exata ainda deve ser mais profundamente estudada.

Não se pode dizer que a força nuclear forte e a força eletromagnética sejam meros entes de razão e se limitem a isso. São interações reais ocorrendo entre partes reais do átomo, mas que serão objeto de abstração do físico matemático e deste modo constituirão, com outros elementos, o conjunto de uma teoria científica.

2.4 O princípio de causalidade foi colocado em xeque depois do surgimento da Mecânica Quântica?

Talvez um dos maiores estigmas sofridos atualmente pela Escolástica seja a acusação de que ela foi definitivamente superada no século XX com o surgimento da MQ, notavelmente com o princípio de indeterminação, o qual teria golpeado de morte o princípio aristotélico-tomista de causalidade, visto como algo um tanto obtuso e simplório quando aplicado aos fenômenos observados no mundo. Além disso, a afirmação escolástica de que não há causalidade material à distância e de que necessariamente deve haver um contato entre os corpos num evento causal parece incompatível com dados certos e indiscutíveis sobre a gravitação, por exemplo. Estas e outras coisas levaram, e levam ainda hoje, muitos a ter um juízo bastante negativo da Filosofia da natureza de Aristóteles, de Santo Tomás de Aquino e da Escolástica como um todo, vendo-a como obsoleta.

O fato é que muitas destas críticas são frutos de falácias em nome da ciência positiva e experimental e, mais profundamente ainda, são frutos da falta de distinções adequadas. Há um princípio escolástico que faz parte da herança comum conservada e transmitida de geração em geração que diz: *Se queres ser filósofo, distingue frequentemente.*

Seguimos de perto algumas considerações de Edward Feser nesta questão, uma vez que ele é um dos escolásticos que mais tratou deste tema atualmente.

Edward Feser, ao comentar sobre as faltas de distinções adequadas que levam a confusões desta ordem, diz:

Por exemplo, no que diz respeito à noção de “causa”, os metafísicos escolásticos distinguem entre causas formais, materiais, eficientes e finais. No que diz respeito às causas eficientes, eles distinguem entre causas principais e instrumentais, entre séries de causas que são essencialmente ordenadas e aquelas que são acidentalmente ordenadas, e entre aquelas que operam simultaneamente, versus aquelas que são ordenadas no tempo. Eles distinguem entre causas totais e causas parciais, e entre causas próximas e remotas. Eles consideram a causalidade principalmente como uma característica das substâncias e apenas secundariamente como uma relação entre eventos. Eles distinguem entre poderes causais e a operação desses poderes, entre poder causal ativo e potências passivas. E assim por diante. Todas essas distinções são apoiadas por argumentos, e a Escolástica sustenta que todas elas são necessárias para capturar a complexidade das relações causais como elas existem no mundo real. Agora, aqueles que criticam a metafísica escolástica em bases científicas normalmente operam com uma compreensão muito estreita da causalidade. Em particular, eles frequentemente a concebem como uma relação determinística mantida entre eventos separados temporalmente. Eles argumentarão, então, (por exemplo) que a mecânica quântica minou a causalidade assim compreendida e concluirão que, portanto, minou a causalidade, ponto final. (...) O ponto mais profundo é que é simplesmente falacioso supor que minar *um tipo* da causalidade (e em um tipo de contexto) é minar a causalidade *como tal*. Certamente é uma petição de princípio contra a Escolástica, que nega que toda causalidade se reduza a relações determinísticas mantidas entre eventos temporalmente separados.³² (FESER, 2014)

³² *For example, where the notion of “cause” is concerned, Scholastic metaphysicians distinguish between formal, material, efficient, and final causes. Where efficient causes are concerned, they distinguish between principal and instrumental causes, between series of causes which are essentially ordered and those which are accidentally ordered, and between those which operate simultaneously versus those which are ordered in time. They distinguish between total causes and partial causes, and between proximate and remote causes. They regard causality as primarily a feature of substances and only secondarily as a relation between events. They distinguish between causal powers and the operation of those powers, between active causal power and passive potencies. And so forth. All of these distinctions are backed by arguments, and the Scholastic maintains that they are all necessary in order to capture the complexity of causal relations as they exist in the actual world. Now, those who criticize Scholastic metaphysics on scientific grounds typically operate with a very narrow understanding of causality. In particular, they often conceive of it as a deterministic relation holding between temporally separated events.*

Uma outra causa de indisposição para com a Escolástica vem da associação muito próxima que se faz entre os princípios metafísicos dela e os exemplos dados para ilustrar estes princípios, exemplos que talvez venham a se mostrar, com o passar do tempo, inadequados. Isto quer dizer que quando um filósofo ou um cientista afirma um princípio metafísico geral, às vezes ele o ilustra com exemplos que depois se mostram inapropriados. Mas disso não se segue, simplesmente sem qualquer nuance, que o próprio princípio geral esteja errado.

Por exemplo, os aristotélicos defendem a realidade da causalidade final – a ideia de que substâncias e processos naturais são inerentemente “direcionados para” certos efeitos característicos ou gamas de efeitos. Nos séculos anteriores, a ideia era frequentemente ilustrada em termos da visão de Aristóteles de que objetos pesados são naturalmente direcionados para o centro da Terra como seu “lugar natural”. Porém, isso acaba por se mostrar um erro. Isso é frequentemente tratado como uma razão para rejeitar a ideia de causalidade final *como tal*, mas isso simplesmente não se segue. Em geral, as deficiências desta ou daquela ilustração de alguma tese metafísica escolástica simplesmente não são motivos para rejeitar *a própria* tese.³³ (FESER, 2014)

Feser explica que a Escolástica argumenta e defende seus princípios a partir de bases inteiramente independentes de questões sobre como interpretar a Mecânica Quântica. A Escolástica construiu sua metafísica muito antes do surgimento da MQ, partindo de abundantes fatos reais do cotidiano, fatos indiscutíveis quanto à sua realidade objetiva, e mesmo a MQ deve pressupor uma série de princípios metafísicos que qualquer ciência empírica deve aceitar sob pena de se tornar um sistema irracional, pela negação dos princípios mais fundamentais que regem qualquer ser.

Mais fundamentalmente, existe a teoria aristotélica do ato e da potência, segundo a qual não podemos dar sentido à mudança como uma característica real do mundo a menos que reconheçamos que existe, além do que é real, por um lado, e do puro *nada* por outro, um meio-termo de *potencialidade*. A mudança é a atualização de uma potencialidade e, a menos que afirmemos isso, estaremos presos a uma concepção parmenidiana estática do mundo. E isso não é uma opção, porque a existência da mudança não pode ser negada

³³ For example, Aristotelians defend the reality of final causality -- the idea that natural substances and processes are inherently “directed towards” certain characteristic effects or ranges of effects. In previous centuries, the idea was often illustrated in terms of Aristotle’s view that heavy objects are naturally directed toward the center of the earth as their “natural place.” That turns out to be mistaken. This is often treated as a reason for rejecting the idea of final causality as such, but this simply doesn’t follow. In general, the deficiencies of this or that illustration of some Scholastic metaphysical thesis are simply not grounds for rejecting the thesis itself.

coerentemente. Inclusive, ir construindo as etapas de um argumento para defender a inexistência de mudança é em si uma instância de mudança. A experiência sensorial – e, portanto, a observação e o experimento sobre os quais a ciência empírica se baseia – pressupõe uma mudança real.³⁴ (FESER, 2014)

(...) os principais conceitos do aparato metafísico aristotélico-escolástico – forma substancial e matéria prima, causalidade final e causalidade eficiente, e assim por diante – são essencialmente um desdobramento da teoria do ato e da potência. Pode-se argumentar se este ou aquele objeto realmente tem uma forma substancial ou é meramente um agregado [isto é, um artefato, fruto da técnica humana, resultado da união artificial de várias substâncias formando um todo artificial], se identificamos e caracterizamos corretamente as características teleológicas de tal e tal processo natural, e assim por diante. O que não se pode negar é que a forma substancial, a teleologia etc. são características fundamentais da ordem natural e inevitavelmente aparecerão em uma imagem completa do mundo físico em algum nível de análise. Tudo isso decorre de uma aplicação consistente da teoria do ato e da potência. Também não se pode negar que qualquer potencial que é atualizado é atualizado por algo já atual. Esse é o cerne do “princípio da causalidade” e decorre do princípio da razão suficiente – um princípio que, corretamente entendido, também não pode ser negado coerentemente.³⁵ (FESER, 2014)

Jean-Marie Aubert sustenta, igualmente, que não é razoável invalidar os princípios mais fundamentais do raciocínio humano, que sustentam a ciência e a reflexão, a partir de dados imperfeitos e coletados por uma metodologia específica:

O indeterminismo em questão aqui não tem nada a ver com qualquer violação do princípio de causalidade; se situando no nível do ser das coisas, "a causalidade é uma exigência radical da razão humana encarando o mundo exterior e buscando dar conta dele" (J. Ullmo, *La*

³⁴ *Most fundamentally, there is the Aristotelian theory of act and potency, according to which we cannot make sense of change as a real feature of the world unless we recognize that there is, in addition to what is actual on the one hand, and sheer nothingness on the other, a middle ground of potentiality. Change is the actualization of a potentiality, and unless we affirm this we will be stuck with a static Parmenidean conception of the world. And that is not an option, because the existence of change cannot coherently be denied. Even to work through the steps of an argument for the non-existence of change is itself an instance of change. Sensory experience – and thus the observation and experiment on which empirical science rests – presupposes real change.*

³⁵ *(...) the main concepts of the Aristotelian-Scholastic metaphysical apparatus – substantial form and prime matter, final causality and efficient causality, and so forth – are essentially an outworking of the theory of act and potency. You can argue about whether this or that object truly has a substantial form or is merely an aggregate, about whether we have correctly identified and characterized the teleological features of such-and-such a natural process, and so on. What cannot be denied is that substantial form, teleology, etc. are bedrock features of the natural order and will inevitably feature in a complete picture of the physical world at some level of analysis. All of that follows from a consistent application of the theory of act and potency. It also cannot be denied that any potential that is actualized is actualized by something already actual. That is the core of the “principle of causality,” and It follows from the principle of sufficient reason -- a principle which, rightly understood, also cannot coherently be denied.*

pensée scientifique moderne, Flammarion, 1958, p. 163); enquanto tal ela é, no mais, de uma ordem diferente da formulação matemática de uma ligação entre os fenômenos, que exprime a ideia de determinismo (ainda que este último esteja filosoficamente fundado sobre a causalidade); pois a verdadeira causalidade está frequentemente escondida, escapado à observação e à medição matemática (...).³⁶ (AUBERT, 1965, p. 157, tradução nossa)

Como insistimos muitas e muitas vezes até aqui, o que a Física contemporânea nos dá é uma descrição da estrutura matemática da realidade estudada. Ele abstrai estes dados matemáticos, os separando de qualquer aspecto da realidade que não pode ser capturado por meio de métodos exclusivamente quantitativos. Ter isso em mente é absolutamente necessário, porque do fato que algo não apareça na descrição que a Física nos dá não se segue que não exista realmente no mundo físico. Seria como concluir que rosas não são vermelhas porque as conheço a partir de uma foto preto e branco. A ausência de informação é consequência da limitação do método empregado, um artefato de técnica, e é um dado muito limitado em relação ao ser real estudado, com todas as suas muitíssimas qualidades. É um método que necessariamente deixa a cor de fora, mesmo que ela esteja realmente presente no objeto real. Igualmente, o método de representar a realidade física usando linguagem exclusivamente matemática deixará necessariamente de fora qualquer aspecto da realidade física que não seja redutível ao quantitativo, mesmo que tais aspectos existam.

A estrutura matemática de um sistema científico, por si só, é uma mera abstração, não pode ser tudo o que existe, porque há mais no mundo do que a estrutura abstrata que ele captura em sua descrição puramente matemática, mas não nos diz e não pode nos dizer exatamente como é essa realidade concreta, por um artefato de técnica.

Que a física por si só nos dê uma estrutura abstrata não é de forma alguma um ponto novo ou enfatizado apenas pelos escolásticos. Isto foi feito em gerações anteriores por pensadores como Poincaré, Russell, Eddington, Weyl e outros, e na filosofia recente foi

³⁶ *L'indéterminisme dont il y est question n'a rien à voir avec une violation quelconque du principe de causalité; se situant au niveau de l'être des choses "la causalité est une exigence radicale de la raison humaine affrontant le monde extérieur et cherchant à en rendre compte" (J. Ullmo, La pensée scientifique moderne, Flammarion, 1958, p. 163); en tant que telle elle est d'ailleurs d'un ordre différent de la formulation mathématique d'un lien entre les phénomènes, qu'esprime l'idée de déterminisme (quoique ce dernier soit philosophiquement fondé sur la causalité); car la vraie causalité est souvent cachée, échappant à l'observation et à la mesure mathématique (...).*

ênfatizado por Grover Maxwell, Michael Lockwood, Simon Blackburn, David Chalmers e outros.³⁷ (FESER, 2014)

Desta forma, não é difícil compreender que parte-se de estruturas científicas limitadas para fazer a MQ dizer o que de fato ela não diz. A MQ é usada para se defender todo tipo de teses, como dizer que a lei do terceiro excluído (*tertium non datur*) é falsa, que a matéria é um fruto da projeção da consciência humana, que o idealismo é verdadeiro, tratamentos médicos inaceitáveis e, também, de que a MQ provou que o princípio de causalidade não se sustenta mais como antes. Mas, por si só, a MQ não prova nada dessas coisas e nem poderia. O que se faz é uma leitura da MQ com certos pressupostos metafísicos, e isso direcionará como interpretamos filosoficamente os dados experimentais da MQ. É uma área da Física bastante delicada, com fenômenos e dados muito diferentes do que se observa em outras áreas, e uma maior cautela e necessária para não fazê-la dizer mais do que de fato diz, como fazer tábua rasa do princípio de causalidade. Nada mais razoável supor que a causa de um fenômeno esteja lá, que esta causa deva estar lá, de algum modo que seja, apesar de não poder ser identificado convenientemente ainda.

2.4.2. Um caso específico de aparente invalidação do princípio de causalidade: o decaimento radioativo e a força nuclear fraca em particular

Um dos axiomas mais fundamentais relacionados ao princípio de causalidade afirma que tudo o que é movido é movido por outro. É uma aplicação básica das noções de ato e potência. Toda potência, para ser atualizada, só o pode ser pela ação de outro ser já em ato para aquela perfeição.

O que quer que é movido é movido por outro. Todo movimento supõe um motor que é distinto do que se move. Assim, um corpo não se move a não ser sob o impulso de um outro corpo; um efeito não se

³⁷ *That physics by itself only gives us abstract structure is by no means either a new point or a point emphasized by Scholastics alone. It was made in earlier generations by thinkers like Poincaré, Russell, Eddington, Weyl, and others, and in recent philosophy has been emphasized by Grover Maxwell, Michael Lockwood, Simon Blackburn, David Chalmers, and others.*

produz a não ser sob a ação de uma causa que difere dele.³⁸ (SIMON, 1915, p. 45, tradução nossa)

Com efeito, o princípio *Omne quod movetur ab alio movetur* é tão fundamental e universal na filosofia natural aristotélica que deve ser reconhecido como um dos primeiros princípios da toda a ciência da natureza. Aos olhos dos modernos historiadores da ciência este era o princípio mais básico e mais errôneo na física aristotélica.³⁹ (WEISHEIPL, 1985, p. 80, tradução nossa)

Entretanto, a força nuclear fraca e o seu mecanismo de interação entre partículas subatômicas que é responsável pelo decaimento radioativo espontâneo, fenômeno que ocorre com certos átomos, parece não validar este princípio, pois não é causado por nenhum agente externo, mas algo espontâneo do núcleo atômico e sujeito à probabilidade não determinística.

Antes de tudo, é preciso deixar claro aqui que há uma passagem indevida entre a MQ descrever certos estados e mudanças sem descrever a causa deles, e a partir disto afirmar que a MQ prova que certos estados e mudanças não têm causa. Fazer isto é dar um salto indevido e temerário.

Uma segunda precisão também deve ser feita. Muitas pessoas pensam que a Escolástica, da Idade Média até hoje, possui uma unidade maior do que de fato tem. A verdade é que há muitas opiniões e teorias dentro da Escolástica, à medida que seus partidários se afastam mais e mais dos princípios comuns e certos para abordar questões mais complexas. Há muitos debates entre os filósofos escolásticos, sempre concordando todos com os princípios mais fundamentais, mas defendendo muitas vezes posições um tanto diferentes em questões mais complexas.

Pois bem, no que diz respeito ao problema da mudança, para o qual a Escolástica tem um termo técnico e específico, o de "movimento", e que vai muito além do movimento local, abarcando toda e qualquer mudança, alguns escolásticos, dentre os quais Santo Tomás de Aquino, consideram que uma substância pode manifestar certas disposições

³⁸ *Quidquid movetur, ab alio movetur. Tout mouvement suppose un moteur qui est distinct du mobile. Ainsi un corps ne se meut que sous l'impulsion d'un autre corps ; un effet ne se produit que sous l'action d'une cause qui en diffère.*

³⁹ *In fact, the principle Omne quod movetur ab alio movetur is so fundamental and universal in Aristotelian natural philosophy that it must be recognized as one of the first principles of the entire science of nature. In the eyes of modern historians of science this was the most basic and most erroneous principle in Aristotelian physics.*

de maneira “espontânea”, isto é, essas manifestações simplesmente decorriam de sua natureza ou forma substancial.

Para Santo Tomás, que parte de muitos textos de Aristóteles⁴⁰, cada substância específica, constituída por sua composição de matéria e forma substancial, dotada de uma natureza própria, tem tendências que lhe são igualmente próprias. Esta é a base para afirmações, por exemplo, de que o fogo tem um movimento natural para cima, e de que os corpos pesados tem uma inclinação natural de ir para seu local natural de repouso, o qual era visto na Idade Média como o centro da Terra, e está também na base da classificação de certos movimentos como violentos, ou seja, contrários à natureza de um corpo, como seria o de lançar uma pedra para cima, por exemplo.

É verdade que certos exemplos concretos, usados antigamente pelos escolásticos para ilustrar este princípio, não se aplicam mais hoje em dia. Mas isto não invalida o princípio metafísico em si mesmo.

Desta forma, a natureza de um ser é um princípio de movimento, de mudança, que pertence intrinsecamente à coisa que sofre a mudança, e que lhe confere um certo comportamento espontâneo, numa certa medida.

Natureza é definida como: o princípio primeiro interno e essencial das operações de um ser.

a) *Princípio interno* se opõe a artefato, pois os seres artificiais enquanto tais não são movidos por um movimento interno. b) Além disso, *primeiro*, isto é, radical ou último, fundado imediatamente na própria realidade do ser. c) É, no mais, um princípio *direto*; convindo ao ente como algo da própria essência e necessariamente, não como algo acrescentado por concomitância; e é, no mais, algo que exerce verdadeiramente sua influência. d) Finalmente, é um princípio *das operações*; as operações provêm da natureza e, por elas é exercida a tendência de um ser em direção a um término perfectivo, no qual o ser repouse como em um estado perfeito.⁴¹ (SALCEDO, 1957, p. 739, tradução nossa)

⁴⁰ Ver, por exemplo, Física, I, II, 192b20-23, e seu comentário por Santo Tomás, onde Aristóteles define a noção de "natureza" como *princípio interno de mudança*: "Pois a natureza é certo princípio ou causa pela qual aquilo em que primeiramente se encontra se move ou repousa em si mesmo e não por concomitância". (ARISTÓTELES, 2009)

⁴¹ *Natura definitur: principium internum et per se operationum entis. a) Principium internum opponitur artificio, artificialia enim ut talia non moventur interno motu. b) Praeterea primum, hoc est, radicale seu ultimum, fundatum immediate in ipsa realitate entis. c) Est praeterea principium per se; convenit enim enti quasi quis ex ipsa essentia et necessario, non ut quis per accidens superadditum; estue praeterea vere influens. d) Tandem est principium operationum; operationes proveniunt ex natura, et per eas tendentia entis in terminum perfectivum exercetur, in quo ens quasi in perfecto statu quiescat.*

Há uma vasta bibliografia que trata do que muitos escolásticos chamam de dinamismo do ser, não no sentido hegeliano ou próximo disso, mas como uma propriedade do ser das substâncias, que lhes confere, por um lado, uma estabilidade total, fazendo-as ser o que são, mas ao mesmo tempo conferindo-lhes propriedades de ação conforme a natureza específica de cada um. A abordagem deste tema, porém, ultrapassaria muito os limites deste trabalho.

Deste modo, como afirma Weisheipl,

O importante é que devemos, em última análise, reconhecer uma certa espontaneidade interna em todas as coisas, das menores às maiores no universo. Quando se considera, por exemplo, a grande variedade de atividades próprias dos elementos químicos, elétrons e outros corpos, os fenômenos de iluminação e raios ultravioleta, pode-se apenas dizer que procedem automaticamente e espontaneamente dos próprios corpos. Não pode haver outra "fonte" para atividades características exceto a espontaneidade interna. Obviamente, esses fenômenos não são o resultado do acaso; esta ideia é excluída por uma regularidade e constância que podem até ser medidas. Também não se pode dizer que tal movimento é adquirido de outra coisa, pois a experiência mostra que mesmo a transmissão da atividade depende essencialmente da disposição e "vontade" de cada corpo em vista de sua própria atividade; assim, nem todos os corpos podem sofrer a mesma ação. Portanto, devemos admitir que em cada realidade física há algo dado em última instância na experiência, que nada mais é do que a manifestação espontânea de suas características e atividades próprias. Não há nada "por detrás" dessa espontaneidade, no que diz respeito ao corpo; isso é apenas um "dado" na experiência. Todos os fatores envolvidos no evento devem ser considerados, as circunstâncias de variação, intensidade, impedimentos e assim por diante, mas em última análise há a espontaneidade "dada", como sendo algo do próprio corpo. Junto com esta espontaneidade há também certas receptividades para uma influência externa, receptividades que são compatíveis com as características espontâneas de cada corpo. Para ambos dessas fontes intrínsecas, o espontâneo e o receptivo, Aristóteles dá o nome de natureza, que ele define como "o princípio do movimento e descansar naquelas coisas a que pertence propriamente (*per se*) e não como atributo concomitante (*per accidens*)."⁴² (WEISHEIPL, 1985, p. 9-10, tradução nossa)

⁴² *The important thing is that we must in the last analysis acknowledge a certain internal spontaneity in all things from the smallest to the largest in the universe. When one considers, for example, the great variety of activities proper to chemical elements, electrons, and other physical bodies, the phenomena of illumination and ultraviolet rays, one can only say that they proceed automatically and spontaneously from the bodies themselves. There can be no other "source" for characteristic activities except internal spontaneity. Obviously these phenomena are not the result of chance; this is precluded by a regularity and constancy which can even be measured. Nor can it be said that such movement is acquired from something else, for experience shows that even the transmission of activity depends essentially on the internal disposition and "willingness" of each body in view of its proper activity; thus not all bodies can be acted upon in the same way. Therefore, we must admit that in each physical reality there is something ultimately given in experience, which is none other than the spontaneous manifestation of its*

O que Aristóteles quer dizer, finalmente, bem como muitos dos escolásticos, é que a raiz do comportamento próprio de um ser, de suas inclinações a uma certa ação, a uma certa mudança, é sua natureza.

Para Aristóteles, portanto, a natureza é essa fonte intrínseca de movimento. As coisas "têm uma natureza" ou são "naturais" quando têm tal princípio. (...) O argumento de Aristóteles é que, se quisermos entender os fenômenos naturais, devemos admitir uma espontaneidade interna (natureza) dentro de corpos concretos por causa do comportamento característico deles.⁴³ (WEISHEIPL, 1985, p. 11, tradução nossa)

A palavra *principium*, insiste São Tomás, deve ser entendida estritamente; não é uma causa ou um motor. Um princípio formal (*principium*, ἀρχή) é simplesmente uma fonte espontânea de tudo que vem dela naturalmente, isto é, todos os atributos e atividades característicos. Uma vez que é criado, ele imediatamente (*statim*) e espontaneamente manifesta um comportamento característico, a menos que se encontre acidentalmente impedido de fazer o que vem naturalmente. Assim, *qui dat formam, dat consequentia ad formam*. Por isso Tomás de Aquino, seguindo Aristóteles, sempre diz que a única causa *per se* desses movimentos é o gerador do corpo; a causa *per accidens* é tudo o que remove um impedimento aos movimentos espontâneos, naturais.⁴⁴ (WEISHEIPL, 1985, p. 90, tradução nossa)

A título de exemplo, vejamos o que Santo Tomás diz no seu comentário ao livro da Física de Aristóteles (*In VII Phys.*, l. 8, n. 8, tradução nossa):

characteristics and proper activities. There is nothing "behind" this spontaneity, as far as the body is concerned; it is just "given" in experience. All the factors involved in the event must be considered, the circumstances of variation, intensity, prevention, and so forth, but in the last analysis there is the spontaneity "given," as from the body itself. Together with this spontaneity there are also certain receptivities for external influence, receptivities which are compatible with the spontaneous characteristics of each body. To both of these intrinsic sources, the spontaneous and the receptive, Aristotle gives the name nature, which he defines as "the principle of movement and rest in those things to which it belongs properly (per se) and not as concomitant attribute (per accidens)."

⁴³ *For Aristotle, then, nature is this intrinsic source of characteristic movement. Things "have a nature" or are "natural" which have such a principle. (...) Aristotle's point is that if we wish to understand natural phenomena, we must admit an internal spontaneity (nature) within concrete bodies for their characteristic behavior.*

⁴⁴ *The word principium, St. Thomas insists, must be taken strictly; it is not a cause or a mover. A formal principle (principium, ἀρχή) is simply a spontaneous source of all that comes from it naturally, that is, all characteristic attributes and activities. Once it is brought into being, it immediately (statim) and spontaneously manifests characteristic behavior, unless accidentally impeded from doing what comes naturally. Thus, qui dat formam, dat consequentia ad formam. For this reason Aquinas, following Aristotle, always says that the only per se cause of those motions is the generator of the body; the per accidens cause is whatever removes an impediment to natural, spontaneous motions.*

E alguns são aqueles que se movem segundo a natureza, mas não por si mesmos, como os corpos pesados e leves, e estes são também movidos por outros, como foi demonstrado, porque ou se movem diretamente por aquele que os produz, que os faz ser pesados ou leves, ou são movidos indiretamente por aquele que desfaz, isto é, remove aquelas coisas que impedem ou afastam o movimento natural.⁴⁵

De modo semelhante, quando escreve na Suma de Teologia (I, q. 18, a. 1, ad 2, tradução nossa):

(...) Aos corpos graves e leves não é próprio serem movidos, senão enquanto estão fora da disposição da sua natureza. Assim, quando estão fora do lugar próprio; pois, quando no lugar próprio e natural, repousam. Mas, as plantas e os outros viventes movem-se por um movimento vital, por estarem na sua disposição natural, e não por se aproximarem ou se afastarem dela; antes, afastando-se de tal movimento, afastam-se da disposição natural. E, além disso, os corpos graves e leves são movidos por um motor extrínseco, gerador, que dá a forma, ou remove o obstáculo, como diz Aristóteles no VII livro da Física.⁴⁶

Isto tem consequências ainda mais profundas no que diz respeito à causalidade, porque significa que as mudanças espontâneas de um ser simplesmente decorrem da forma substancial dele e não requerem um motor externo continuamente conjunto, uma causa eficiente presente ali no momento em que ocorrem.

Isto também não significa que aquela mudança não tenha uma causa eficiente. Ao contrário, há sim uma causa eficiente, que não é outra coisa além daquilo, ou de tudo aquilo, que levou à formação daquele ser que, agora, por uma disposição natural, manifesta um comportamento espontâneo na medida em que não houver um impedimento.

⁴⁵ *Quaedam enim sunt quae moventur secundum naturam, non tamen a seipsis, sicut gravia et levia, et haec etiam ab aliquo moventur, ut ostensum est, quia aut moventur per se a generante, quod facit ea esse gravia et levia, aut moventur per accidens ab eo quod 'solvit,' idest removet ea quae impediunt vel remonent naturalem motum.*

⁴⁶ (...) *dicendum quod corporibus gravibus et levibus non competit moveri, nisi secundum quod sunt extra dispositionem suae naturae, utpote cum sunt extra locum proprium, cum enim sunt in loco proprio et naturali, quiescunt. Sed plantae et aliae res viventes moventur motu vitali, secundum hoc quod sunt in sua dispositione naturali, non autem in accedendo ad eam vel in recedendo ab ea, imo secundum quod recedunt a tali motu, recedunt a naturali dispositione. Et praeterea, corpora gravia et levia moventur a motore extrinseco, vel generante, qui dat formam, vel removente prohibens, ut dicitur in VIII Physic., et ita non movent seipsa, sicut corpora viventia.*

É comumente afirmado que o axioma escolástico *Omne quod movetur ab alio movetur* haveria de ser rejeitado antes que a física clássica moderna pudesse ter início com o seu princípio de inércia. Em primeiro lugar, isso é considerado como a uma rejeição do *coniunctus motor* para explicar a continuação da movimento uma vez que o corpo tenha deixado o projetor ou o produtor [de movimento]. Como vimos, na física aristotélica nunca houve necessidade de um *motor coniunctus* para explicar o movimento natural dos corpos uma vez produzido. A própria forma substancial era o "princípio" formal ativo de tudo o que cabe naturalmente ao corpo, incluindo movimentos e repouso. Entre os movimentos naturais que surgem imediata e espontaneamente na constituição de um corpo estão os movimentos locais, nutrição, crescimento, produção de semente, e até mesmo o batimento cardíaco. A única causa eficiente reconhecida em todos esses movimentos foi o *gerador* desse corpo. Uma vez que o corpo existe, imediatamente manifesta todas as suas características naturais, incluindo movimento local para um lugar natural. Quem removesse um impedimento para o movimento natural também era considerado uma "causa" eficiente desse movimento, mas apenas *per accidens*, em que um obstáculo foi removido para a atualidade imediata do movimento. Na física aristotélica não há necessidade de procurar qualquer outra causa eficiente. Esta forma substancial de modo algum era considerada a causa eficiente do movimento ou dos acidentes próprios. É apenas um "princípio" ativo e formal de tudo o que vem dele imediata e espontaneamente, quando nenhum obstáculo se encontra presente.⁴⁷ (WEISHEIPL, 1985, p. 118, tradução nossa)

Desta forma, uma vez estabelecidos estes princípios e feitas estas precisões, agora podemos dizer que, de acordo com os princípios da Escolástica, é possível sustentar que a emissão de partículas α e β , bem como de raios γ , é fruto de uma inclinação natural de certas substâncias naturais, cuja causa eficiente é o conjunto de processos que levaram ao surgimento destas substâncias radioativas (mais precisamente, de acordo com algumas teorias, a síntese destas substâncias em estrelas ao longo de bilhões de anos). A causa formal destas emissões radioativas é a própria forma substancial imaterial que

⁴⁷ *It is commonly said that the scholastic axiom Omne quod movetur ab alia movetur had to be rejected before modern classical physics could begin with its principle of inertia. In the first place this is taken to mean a rejection of the motor coniunctus to explain the continuation of motion once the body has left the projector or the generator. As we have seen, in Aristotelian physics there never was any need for a motor coniunctus to explain the natural motion of bodies once generated. The substantial form itself was the active formal "principle" of all that comes naturally to the body, including motions and rest. Among natural motions that come immediately and spontaneously on the constitution of a body are local motions, nutrition, growth, production of seed, and even the heartbeat. The only efficient cause acknowledged in all these motions was the generator of that body. Once the body exists, it immediately manifests all its natural characteristics, including local motion to a natural place. Whoever removed an impediment to the natural motion was also considered an efficient "cause" of that motion, but only per accidens in that an obstacle was removed to the immediate actuality of motion. In Aristotelian physics there is no need to look for any other efficient cause. This substantial form in no way was considered the efficient cause of the motion or of the proper accidents. It is only an active, formal "principle" of all that comes from it immediately and spontaneously, no obstacle being present.*

compõe esta ou aquela substância radioativa, responsável por uma certa organização da matéria que a leva a ter uma instabilidade própria. Sua causa material será o próprio conjunto de partículas que compõem estas emissões (prótons, fótons, etc...) e a causa final será a obtenção de um estado mais estável.

(...) mesmo que se afirme que os fenômenos de decaimento são incompatíveis com a causalidade determinística, não se segue que não haja causalidade em tais casos. Tudo o que se seguiria é que a causalidade não é determinística.⁴⁸ (FESER, 2014, tradução nossa)

2.4.3. Causalidade à distância: o problema apresentado pela força da gravidade

Gostaríamos de tratar, por último, da importante questão da causalidade à distância e a gravidade. Max Jammer, ao tratar do conceito newtoniano de força, mostra que suas afirmações a respeito da gravitação foram, já naquela época, usados por outros para concluir que uma tal interação entre os corpos, ocorrida à distância e sem contato, não poderia ocorrer na pura matéria. Alguns partiram das afirmações de Newton para dizer que um princípio imaterial estaria na origem da gravitação.

Os "espíritos etéreos" de Newton foram mal interpretados como "espíritos ou princípios imateriais" e já eram avidamente empregados por seus contemporâneos para um fundamento racional de suas doutrinas teístas. O mais famoso entre eles foi Bentley, que ampliou o significado da concepção de gravitação de Newton nesse sentido de maneira mais eloquente em seus *Sermões*. A atração mútua sem contato ou impulso, afirmou ele, não é um atributo da simples matéria, mas deve ser devida a um princípio imaterial, uma mente viva imaterial que deve "informar e ativar a matéria morta e sustentar a estrutura do mundo". A gravitação universal para Bentley estava acima de todo mecanismo ou causas materiais, e "procede de um princípio superior, uma energia e impressão divinas".⁴⁹ (JAMMER, 1999, p. 138-139, tradução nossa)

⁴⁸ (...) even if it is claimed that decay phenomena are incompatible with deterministic causality, it doesn't follow that there is no causality at all in such cases. All that would follow is that the causality is not deterministic.

⁴⁹ Newton's "ethereal spirits" were misinterpreted as "immaterial spirits or principles" and were eagerly employed already by his contemporaries for a rational foundation of their theistic doctrines. Most famous among these was Bentley, who stretched the meaning of Newton's conception of gravitation in this sense most eloquently in his Sermons. Mutual attraction without contact or impulse, he contended, is not an attribute of mere matter but must be due to an immaterial principle, an immaterial living mind that must "inform and actuate the dead matter, and support the frame of the world." Universal gravitation for Bentley was above all mechanism or material causes, and "proceeds from a higher principle, a divine energy and impression".

Como explica Jammer, Newton não dava sua aprovação para estas teorias "pois, dizia ele, a causa da gravidade é algo que eu não tenho a pretensão de conhecer e que, portanto, tomaria mais tempo de reflexão"⁵⁰ (DYCE, 1838, p. 210).

Estas reações gerais de muitos contemporâneos de Newton, e de Newton ele mesmo, são perfeitamente compreensíveis quando se sabe que era algo impensável para eles a possibilidade de conceber alguma causalidade à distância entre corpos materiais. É um dado do senso comum e algo claramente defendido pela Escolástica.

Nihil agit in distans. Uma causa produz seu efeito sobre um objeto distante apenas agindo sobre os meios intermediários. Pois a eficácia das causas criadas tem apenas uma esfera limitada; a experiência nos mostra que essas causas perdem sua energia se a distância do objeto aumentar; assim a atração da gravidade e a luz diminuem de intensidade conforme o objeto está mais distante; o que não aconteceria se sua força não fosse enfraquecida nos meios intermediários.⁵¹ (SIMON, 1915, p. 47, tradução nossa)

No caso da força da gravidade e da gravitação, nos encontramos diante de um dos maiores desafios da Física. Dar conta de um dos comportamentos mais peculiares da matéria, mais universais e ainda hoje um dos mais enigmáticos. Não se observa, com a força da gravidade, nem reflexão, nem refração, nem difração. Não há telas que possam impedir a força da gravidade de exercer sua influência sobre os corpos, cobrindo-os, nem se pode isolar da gravidade um corpo para estudá-lo, nem se sabe exatamente se ela se propaga de um corpo a outro e por que modo poderia ser. Sua intensidade é muito menor diante da força eletromagnética próxima de um corpo, mas é a força gravitacional mais poderosa no universo como um todo (RIAZA, 1953, p. 278-279).

Podemos fazer uma primeira consideração de ordem mais geral a respeito da força da gravidade, com base no que já expusemos mais acima ao tratar da força nuclear fraca e da radioatividade (2.4.2), a saber, de que encontramos nas naturezas das substâncias um princípio de operação. Desta forma, considerando a gravitação num plano estritamente

⁵⁰ (...) for the cause of gravity is what I do not pretend to know, and therefore would take more time to consider of it.

⁵¹ *Nihil agit in distans.* Une cause ne produit son effet sur un objet éloigné qu'en agissant sur les milieux intermédiaires. Car l'efficacité des causes créées n'a qu'une sphère limitée ; l'expérience nous montre que ces causes perdent de leur énergie si la distance de l'objet s'accroît ; ainsi l'attraction de la pesanteur et la lumière diminuent d'intensité à mesure que l'objet est plus éloigné ; ce qui n'arriverait pas, si leur force ne se dépensait pas dans les milieux intermédiaires.

filosófico, isto é, da busca pelas causas mais fundamentais que possam ser encontradas nos seres, é possível dizer que a gravitação é um comportamento que decorre da natureza corpórea e material das substâncias materiais:

Já para o aristotélico, a forma substancial de uma substância inanimada não é a causa eficiente de suas operações naturais; em vez disso, essas operações fluem “espontaneamente” dela, precisamente porque é da natureza da substância operar dessa maneira. Portanto, o fato de um planeta exercer uma atração gravitacional é apenas algo que ele faz em virtude de sua natureza ou forma substancial; ele não precisa de uma causa eficiente operando continuamente para fazê-lo exercer tal atração. Isso não significa que não haja, em nenhum sentido, uma causa eficiente das operações naturais de uma coisa, mas que a causa eficiente é justamente aquela que deu à substância em questão sua forma substancial em primeiro lugar, isto é, aquela que gerou a substância ou a trouxe à existência. Não é algo que precisa operar continuamente depois que a coisa é trazida à existência. Portanto, a causa eficiente de um planeta exercer uma atração gravitacional sobre outros objetos são quaisquer processos naturais que trouxeram esse planeta à existência há milhões de anos, dando-lhe assim a natureza ou forma substancial que possui. O fato de exercer essa atração agora é algo que ele apenas faz “espontaneamente”, em virtude de sua natureza.⁵² (FESER, 2012, tradução nossa)

Em seguida, os escolásticos afirmam sem hesitação a necessidade de contato entre corpos materiais para que haja uma causalidade entre um e outro. Há um limite claro de ação possível entre os corpos, pois vemos que esta ação é afetada pela distância entre eles. *Algum* contato se faz necessário, ao menos por corpos intermediários.

Ação sobre um corpo distante é uma ação de um agente enquanto o corpo que sofre a ação não está presente. (...) A presença *corpórea*, ou ausência de distância quanto à quantidade, é chamada de *contato* do volume físico, que é obtido entre corpos contíguos, isto é, cujos limites se encontram juntos. (...) Não negamos que agentes corpóreos ajam no corpo que sofre a ação mediante outros corpos, por exemplo o

⁵² *Now for the Aristotelian, the substantial form of an inanimate substance is not the efficient cause of its natural operations; rather, those operations flow “spontaneously” from it, precisely because it is in the nature of the substance to operate in those ways. Hence that a planet exerts a gravitational pull is just something it does by virtue of its nature or substantial form; it does not need a continuously operating efficient cause to make it exert such a pull. That does not mean that there is in no sense an efficient cause of a thing’s natural operations, but that efficient cause is just that which gave the substance in question its substantial form in the first place, i.e. that which generated the substance or brought it into being. It is not something that needs continuously to operate after the thing is brought into being. Hence the efficient cause of a planet’s exerting a gravitational pull on other objects is just whatever natural processes brought that planet into existence millions of years ago, thereby giving it the nature or substantial form it has. Its exerting that pull is now something it just does “spontaneously”, by virtue of its nature.*

sol sobre a terra por meio do éter, telefone sem fio por meio de ondas, etc. (...).⁵³ (MAQUART, 1937, p. 106, tradução nossa)

Desta forma, a Escolástica considera como possível a existência, por exemplo, de partículas que constituam a intermediação da causalidade gravitacional entre os corpos. Sabemos que esta é uma das hipóteses consideradas atualmente, ainda que não suficientemente estabelecida nem comprovada.

⁵³ *Actio in distans est actio agentis passo non praesentis. (...) Praesentia corporea, seu indistantia quoad quantitatem, dicitur contactus molis, qui obtinetur inter corpora contigua, id est quorum extrema sunt simul. (...) Non quidem negamus agentia corporea agere in passum mediantibus aliis corporibus, v. gr. sol mediante aethere in terram agit, T. S. F. mediantibus undis, etc. (...).*

CAPÍTULO 3 – CONCLUSÃO

O presente trabalho procurou, antes de tudo, fazer uma verdadeira reflexão filosófica sobre problemas fundamentais da ciência atual, visando dissipar primeiramente certas vaguezas conceituais em torno do conceito de *força*. Procuramos compreender melhor, à luz da Escolástica e de sua herança aristotélica, qual seria sua natureza, fazendo as distinções necessárias para depois termos uma visão de conjunto, a saber, de que em si mesma, enquanto elemento constitutivo de uma teoria científica da física-matemática, é um ente de razão com fundamento na realidade. De que algumas forças serão interações reais, estarão ligadas a eventos causais reais entre corpos, enquanto outras terão seu fundamento no comportamento de um certo movimento em relação a observador. Evimos que, apesar de ser um ente de razão na medida em que constitui os elementos de um sistema de explicação da natureza, isto não faz da noção de força algo menos eficaz e produtivo, fecundo de aplicação na realidade, ainda que seja incapaz de esgotar toda a realidade.

Também procuramos apresentar ao leitor a Escolástica com algum esplendor a mais do que ele geralmente está habituado a vê-la. Sabemos que, às vezes, se tem da Escolástica uma visão simplista demais, que se deve a algum grau, maior ou menor, de desleixo intelectual. Os críticos da Escolástica formulam muitas vezes as questões em termos ridiculamente amplos, fazendo afirmações peremptórias de que “o aristotelismo foi refutado pela ciência moderna”, por exemplo. Na verdade, é claro, os rótulos “aristotelismo” e “ciência moderna” cobrem ambos um grande número de ideias e argumentos distintos e logicamente independentes, e estes precisam ser cuidadosamente desembaraçados antes que a questão da relação entre a metafísica escolástica e a física moderna possa ser frutuosa e abordada. A observação criteriosa do mundo segue seu progresso, mas isto não quer dizer que os princípios metafísicos da Escolástica sofram com isso. Não há relação necessária em dizer, por exemplo que uma vez que o geocentrismo e a teoria do lugar natural de Aristóteles foram falsificados, então não devemos mais levar a sério sua teoria de ato e potência ou a explicação da causalidade que se baseia nela. Isto é simplesmente um *non sequitur*. Tais questões são completamente independentes umas das outras, logicamente falando, possuindo uma associação histórica contingente entre elas.

Muitos críticos também imaginam que os princípios conceituais da Escolástica, seus fundamentos aristotélicos, seu sistema de consideração do mundo, é primitivo e parcamente trabalhado. Foi nossa intenção, também, procurar mostrar um pouco que a Escolástica, e Aristóteles já na sua época, fazem considerações extremamente complexas e dotadas de grande razoabilidade.

Finalmente, muitas pessoas imaginam que a filosofia escolástica está constantemente em oposição com a ciência atual, de que há uma incompatibilidade radical entre ambas, e esperamos que este trabalho possa contribuir para uma visão mais positiva da filosofia da natureza e da metafísica aristotélico-escolásticas nas suas relações com a ciência moderna e contemporânea. Nós julgamos que os avanços científicos não exigem uma reformulação radical dos princípios fundamentais da Filosofia clássica, mas fornecem a ela uma crescente riqueza de novas ocasiões de reflexão e de lapidação destes mesmos princípios, fazendo da reflexão sobre o mundo uma fonte de aperfeiçoamento intelectual e humano cada vez maior e um caminho de sabedoria.

REFERÊNCIAS

AQUINO, T. **Commentaria in octo libros Physicorum Aristotelis, ad codices manuscriptos extracta.** Romae, Typographia poliglotta S. C. de Propaganda Fide, 1884, XX + 480p.

AQUINO, T. **In Aristotelis libros De coelo et mundo, De generatione et corruptione, Meteorologicorum expositio.** R. M. Spiazzi (ed.) Turim: Marietti, 1952.

ARISTÓTELES. **Física I-II/Aristóteles**; prefácio, tradução, introdução e comentários: Lucas Angioni. - Campinas, SP: Editora Unicamp, 2009.

AUBERT, J.-M. **Philosophie de la nature.** Paris: Beauchesne, 1965, p. 157.

BACHELARD, M. G. **La formation de l'esprit scientifique.** Paris: Vrin, 1938, p. 249.

BROGLIE, L. de. **La physique nouvelle et les quanta.** Paris: Flammarion, 1937, 282p.

CASSIRER, E. **Das Erkenntnisproblem in der Philosophie und Wissenschaft der neueren Zeit.** v. 2, Berlin, p. 530, 1906-1907.

COLEMAN, J. **Relativity for the layman.** Hartmondsworth, Middlesex: Penguin Books Ltd, 1959, p. 110.

COSTA, S. **Elementary Particle Physics.** Department of Physics and Astronomy "E. Majorana", Università degli Studi di Catania, 2019. Disponível em <<https://www.dfa.unict.it/en/content/elementary-particle-physics>>. Acesso em: 13 de fevereiro de 2023.

DAUJAT, J. **L'oeuvre de l'intelligence en physique.** 1. ed. Paris: Téqui, 1946, 191p.

DEFERRARI, R. J. **A Lexicon of Saint Thomas Aquinas.** Fitzwilliam, New Hampshire: Loreto Publications, 2004, p. 1185.

DUHEM, P. **La théorie physique.** 2^a ed. Paris: Librairie Marcel Rivière, 1914, p. 77.

DYCE, A. **The works of Richard Bentley.** Londres, 1838. *In*: JAMMER, M. **Concepts of force: a study in the foundations of dynamics.** Cambridge: Harvard University Press, 1999, p. 139.

FESER, E. **Causality and radioactive decay.** Edward Feser, 2014. Disponível em <<http://edwardfeser.blogspot.com/2014/12/causality-and-radioactive-decay.html>>. Acesso em: 15 de fevereiro de 2023.

_____. **Oerter contra the principle of causality**. Edward Feser, 2012. Disponível em <<http://edwardfeser.blogspot.com/2012/05/oerter-contra-principle-of-causality.html>>. Acesso em: 17 de fevereiro de 2023.

HELLÍN, J.; ITURRIOZ, I. **Philosophiae Scholasticae Summa**. 2^a ed. Madrid: Biblioteca de Autores Cristianos, 1959, vol. II, p. 67.

JAMMER, M. **Concepts of force: a study in the foundations of dynamics**. Cambridge: Harvard University Press, 1999, 269p.

KNEUBIL, F. B. ; ROBILOTTA, M. R. **Massa: O conceito de Newton a Higgs**. Notas de Aula do Curso de Extensão. 5^o Encontro USP Escola. São Paulo: Universidade de São Paulo, 2013. 169p

LUMINET, J.-P. **Les théories de gravitation quantique**. YouTube, 2021. Disponível em < <https://www.youtube.com/watch?v=7alVIvRZEJ4> >. Acesso em: 22 de janeiro de 2023.

MAQUART, F.-X. **Elementa Philosophiae**. Parisiis: Andreas Blot, 1937, p. 43-49.

NAPOLI, I. **Manuale Philosophiae ad usum seminariorum**. 1. ed. Italia: Marietti, 1953, v. 2, p. 421.

POINCARÉ, H. **La science et l'hypothèse**. 1 ed. Paris: Ernest Flammarion Éditeur, 1902. p. 464.

_____. **Dernières Pensées**. 1 ed. Paris: Ernest Flammarion Éditeur, 1913. p.199

RESNICK, R. **Física/Robert Resnick [e] David Halliday**. 4^a ed. Rio de Janeiro: LTC - Livros Técnicos e Científicos Editora S.A., 1983, v. 1, p. 314.

RIAZA, J. M. **Ciencia Moderna y Filosofía**. 1^a ed. Madrid: Biblioteca de Autores Cristianos, 1953, 740p.

SALCEDO, L.; ITURRIOZ, I. **Philosophiae Scholasticae Summa**. 2^a ed. Madrid: Biblioteca de Autores Cristianos, 1957, vol. I, p. 88-89; 524-527.

SCHWEITZER, J. P. AS THE WORLD TURNS: The Coriolis Effect. In: **LSU Marine Science Teaching Aid**. Baton Rouge, Louisiana, Issue 3, April, p. 1-4, 1973.

SIMON, A. **Pour lire Saint Thomas**. Paris: Maison de la Bonne Presse, 1915, 432p.

WALKER, J. **Fundamentals of Physics/Halliday & Resnick**. 10^a ed. Danvers: Wiley, 2018, 1453p.

WEISHEIPL, J. A. **Nature and motion in the Middle Ages.** Washington D.C.: The Catholic University of America Press, 1985, 292p.