

Filosofia da Física

PROBLEMAS DE ONTOLOGIA E
EPISTEMOLOGIA DA FÍSICA MODERNA

Com textos de

Antonio Augusto Passos Videira (UERJ)

Carlo Rovelli (Aix-Marseille University)

Carlos Fils Puig (ECTS/Physikós)

Filipe Pamplona (CFCUL - Universidade de Lisboa)

Marcia Begalli (UERJ)

Mariano Gazineu David (UERJ)

Mylena Gaspar Amoedo (UFBA)

Olival Freire Jr. (UFBA)

Oswaldo Pessoa Jr. (USP)

Rafael Velloso (UERJ)

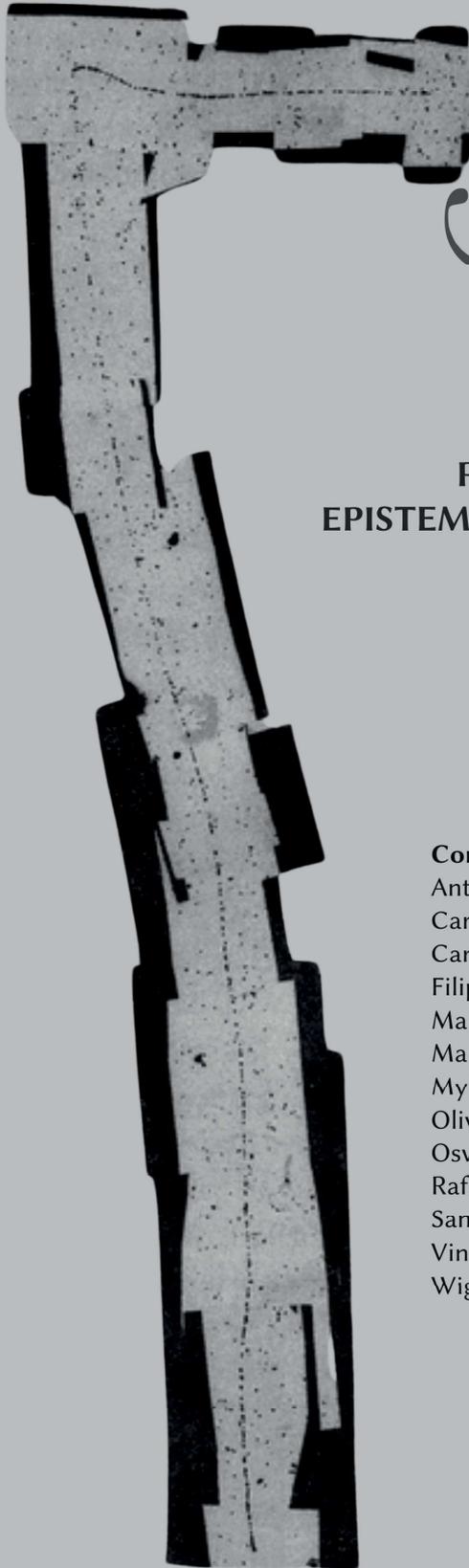
Sandro Fonseca (UERJ)

Vinícius Carvalho da Silva (UFMS)

Wigson Rafael da Costa (NOVA de Lisboa)







Filosofia da Física

PROBLEMAS DE ONTOLOGIA E EPISTEMOLOGIA DA FÍSICA MODERNA

Vinícius Carvalho da Silva
Sandro Fonseca
Antonio Augusto Passos Videira
Marcia Begalli

Organizadores

Com textos de

Antonio Augusto Passos Videira (UERJ)
Carlo Rovelli (Aix-Marseille University)
Carlos Fils Puig (ECTS/Physikós)
Filipe Pamplona (CFCUL - Universidade de Lisboa)
Marcia Begalli (UERJ)
Mariano Gazineu David (UERJ)
Mylene Gaspar Amoedo (UFBA)
Olival Freire Jr. (UFBA)
Oswaldo Pessoa Jr. (USP)
Rafael Velloso (UERJ)
Sandro Fonseca (UERJ)
Vinícius Carvalho da Silva (UFMS)
Wigson Rafael da Costa (NOVA de Lisboa)





Copyright © 2024 IF-UERJ/Physikós-UFMS/ECTS-UERJ/
International Masterclass Hands on Particles Physics-UERJ

Editores: José Roberto Marinho e Victor Pereira Marinho

Projeto gráfico e Diagramação: Horizon Soluções Editoriais

Capa: Homenagem ao Centenário de César Lattes. Evento de observação do pión, o méson- π . Fonte: <https://bit.ly/3A9A1AN>.

Revisão: Vinícius Carvalho da Silva

Texto em conformidade com as novas regras ortográficas do Acordo da Língua Portuguesa.

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
(Câmara Brasileira do Livro, SP, Brasil)

Filosofia da física: problemas de ontologia e epistemologia da física moderna.
/ organizadores Vinícius Carvalho da Silva...[et al.]. - São Paulo : LF Editorial, 2024.

Vários autores.
Outros organizadores: Sandro Fonseca, Antonio Augusto Passos Videira,
Marcia Begalli.
Bibliografia.
ISBN: 978-65-5563-477-8

1. Epistemologia 2. Física - Filosofia 3. Ontologia I. Silva, Vinícius Carvalho da.
II. Fonseca, Sandro. III. Videira, Antonio Augusto Passos. IV. Begalli, Marcia.

24-218846

CDD:-530.01

Índices para catálogo sistemático:

1. Física : Filosofia 530.01

Aline Grazielle Benitez – Bibliotecária – CRB-1/3129

ISBN: 978-65-5563-477-8

Todos os direitos reservados. Nenhuma parte desta obra poderá ser reproduzida sejam quais forem os meios empregados sem a permissão dos organizadores. Aos infratores aplicam-se as sanções previstas nos artigos 102, 104, 106 e 107 da Lei n. 9.610, de 19 de fevereiro de 1998.

Impresso no Brasil | *Printed in Brazil*



LF Editorial

Fone: (11) 2648-6666 / Loja (IFUSP)

Fone: (11) 3936-3413 / Editora

www.livrariadafisica.com.br | www.lfeditorial.com.br





CONSELHO EDITORIAL

Amílcar Pinto Martins

Universidade Aberta de Portugal

Arthur Belford Powell

Rutgers University, Newark, USA

Carlos Aldemir Farias da Silva

Universidade Federal do Pará

Emmánuel Lizcano Fernandes

UNED, Madri

Iran Abreu Mendes

Universidade Federal do Pará

José D'Assunção Barros

Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro

Luis Radford

Universidade Laurentienne, Canadá

Manoel de Campos Almeida

Pontifícia Universidade Católica do Paraná

Maria Aparecida Viggiani Bicudo

Universidade Estadual Paulista - UNESP/Rio Claro

Maria da Conceição Xavier de Almeida

Universidade Federal do Rio Grande do Norte

Maria do Socorro de Sousa

Universidade Federal do Ceará

Maria Luisa Oliveras

Universidade de Granada, Espanha

Maria Marly de Oliveira

Universidade Federal Rural de Pernambuco

Raquel Gonçalves-Maia

Universidade de Lisboa

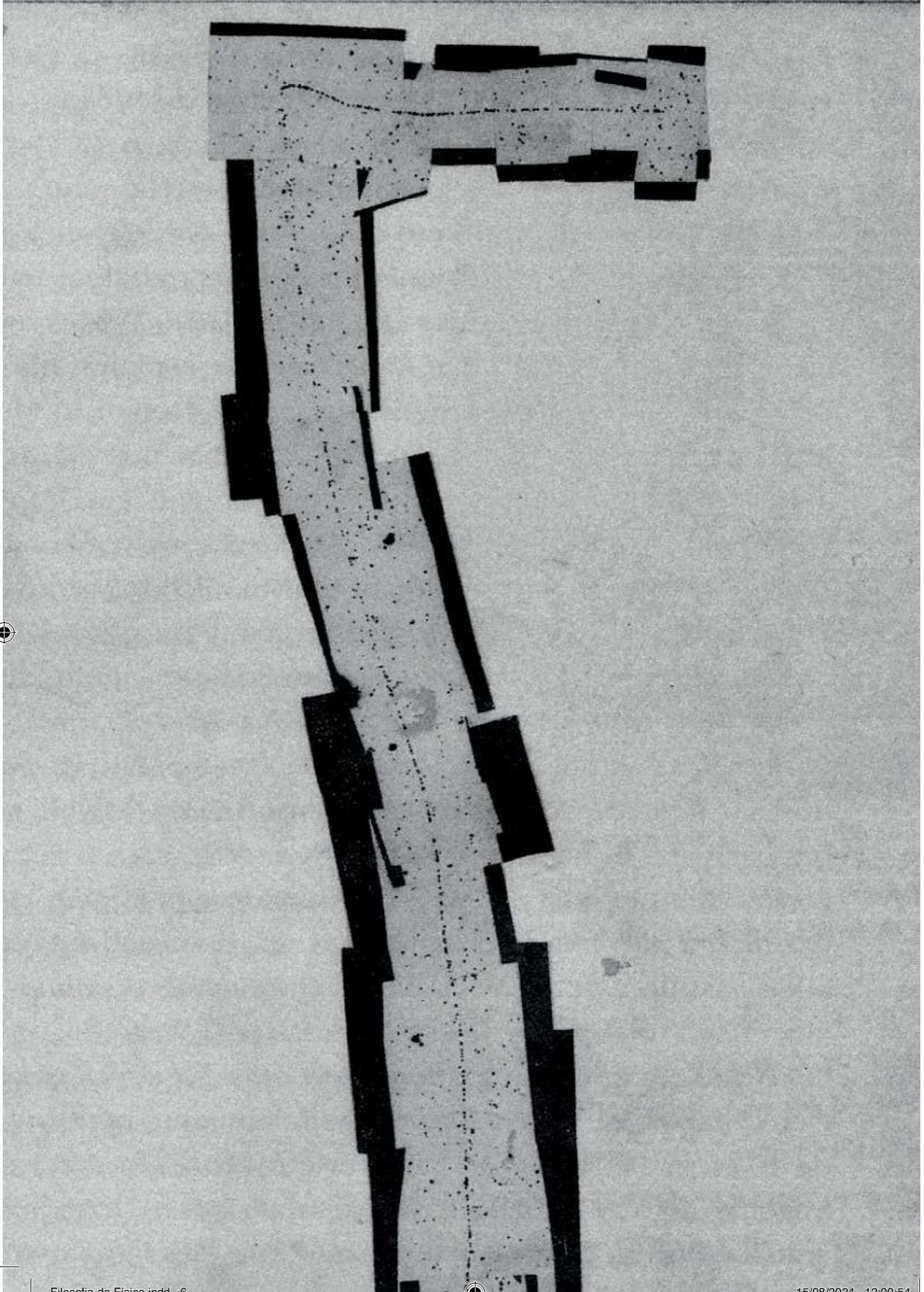
Teresa Vergani

Universidade Aberta de Portugal





Brown 0/11/77





AUTORES

Antonio Augusto Passos Videira (UERJ)
Carlo Rovelli (Aix-Marseille University)
Carlos Fils Puig (ECTS/Physikós)
Filipe Pamplona (CFCUL – Universidade de Lisboa)
Marcia Begalli (UERJ)
Mariano Gazineu David (UERJ)
Mylene Gaspar Amoedo (UFBA)
Olival Freire Jr. (UFBA)
Osvaldo Pessoa Jr. (USP)
Rafael Velloso (UERJ)
Sandro Fonseca (UERJ)
Vinícius Carvalho da Silva (UFMS)
Wigson Rafael da Costa (NOVA de Lisboa)

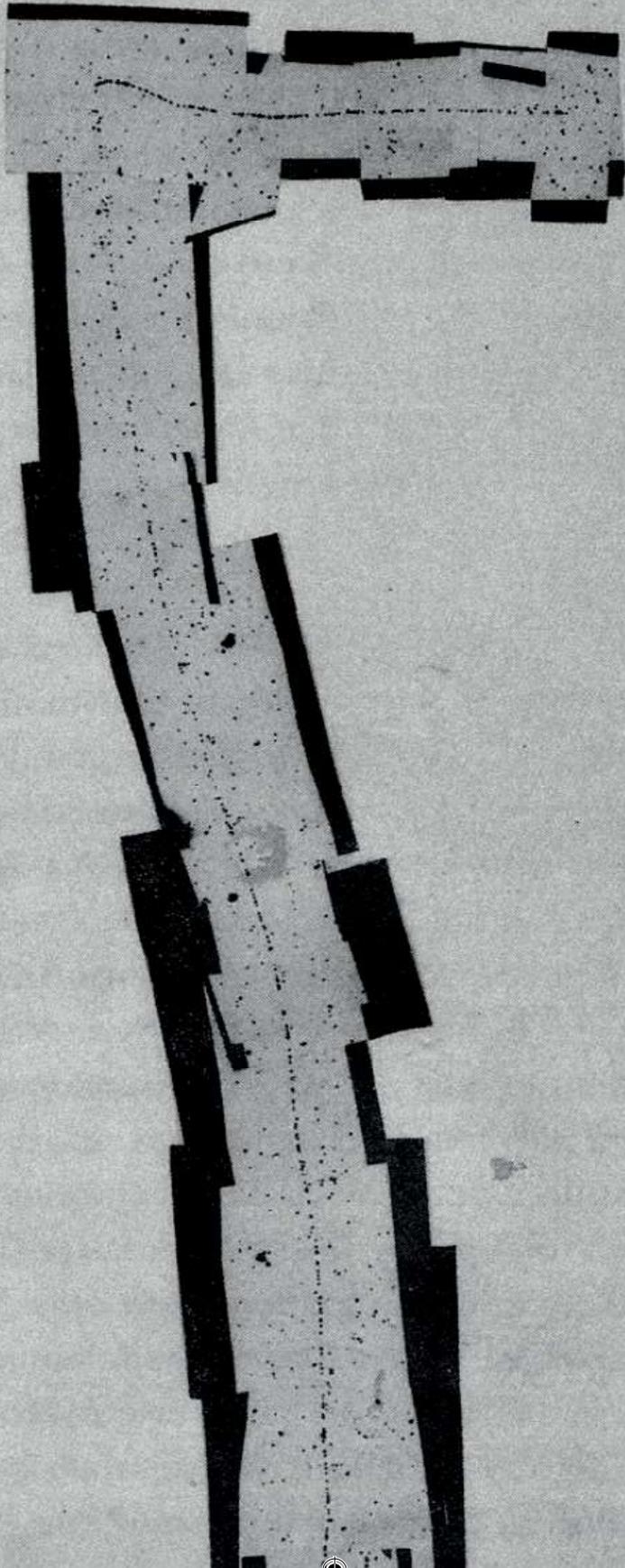


Este livro foi publicado com recursos do Proap-CAPES (Processo 88881.883 426/2023-0) do PPGFIL-UERJ.





Brown 0/11/77





Os teóricos não desenvolvem teorias ao acaso. Eles utilizam motivações teóricas poderosas, não empíricas, para criar, escolher e desenvolver teorias. Se estas não existissem, o formidável sucesso histórico da física teórica seria incompreensível.

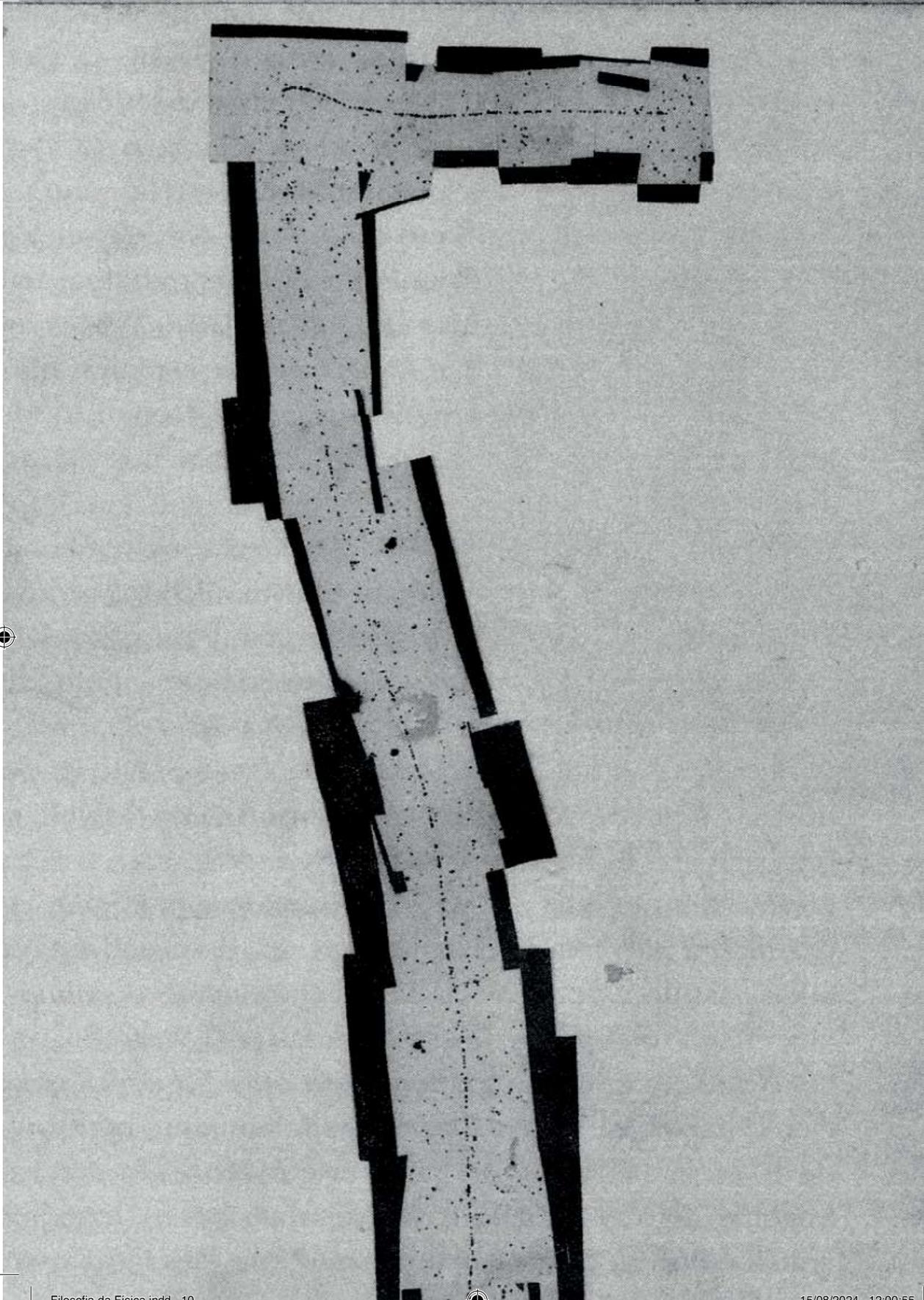
Carlo Rovelli

Em "Os perigos da confirmação não-empírica"





Brown 0/11/77





SUMÁRIO

Apresentação: Física e Filosofia em uma perspectiva plural: Um emaranhamento inevitável, 13

Vinicius Carvalho da Silva | Marcia Begalli | Antonio A. P. Videira | Sandro Fonseca

Uma Introdução à Filosofia da Física, 23

Oswaldo Pessoa Jr

Experimentos de Alain Aspect sobre o teorema de Bell: um ponto de virada na história da pesquisa sobre os fundamentos da mecânica quântica, 37

Olival Freire Junior | Mylena Gaspar Amoedo

A matematização da natureza e o emprego da matemática nas medições de grandezas físicas, 63

Mariano Gazineu David

Niels Bohr e a noção de descrição na construção da teoria quântica, 93

Rafael Velloso

Espaço substancial vs Espaço relacional: Introdução às "raízes" do debate, 119

Filipe Pamplona

James Clerk Maxwell e o uso de metáforas e modelos na sua teoria do eletromagnetismo, 167

Carlos Fils Puig | Antonio A.P. Videira

Pressupostos metafísicos da Física Teórica: Da física dos filósofos antigos à filosofia dos físicos modernos, 197

Vinicius Carvalho da Silva

O Debate de Munich: entre a livre criação teórica e a confirmação experimental, 225

Wigson Rafael da Costa | Vinicius Carvalho da Silva

Os perigos da confirmação não empírica, 235

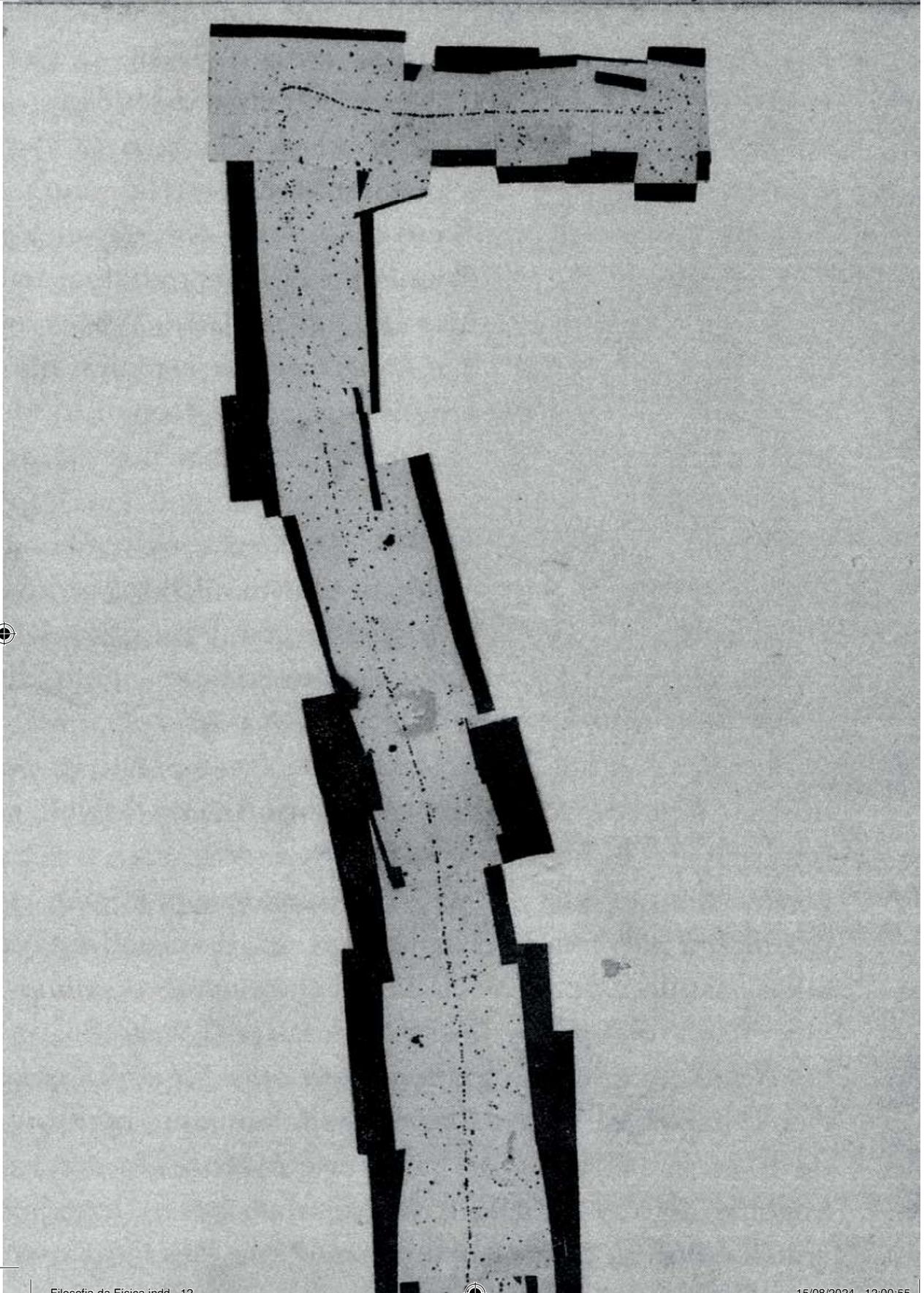
Carlo Rovelli

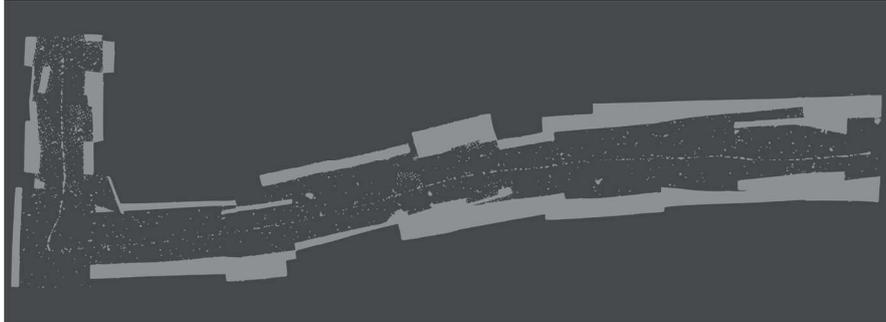
Sobre os autores, 243





Brown 0/11/77





APRESENTAÇÃO:

FÍSICA E FILOSOFIA EM UMA PERSPECTIVA PLURAL: UM EMARANHAMENTO INEVITÁVEL

Vinícius Carvalho da Silva

Universidade Federal de Mato Grosso do Sul

Marcia Begalli

Universidade do Estado do Rio de Janeiro

Antonio A. P. Videira

Universidade do Estado do Rio de Janeiro

Sandro Fonseca

Universidade do Estado do Rio de Janeiro

Quais as relações epistemológicas e históricas entre Física e Filosofia? Em que medida o cientista natural realmente recorre à filosofia no exercício de sua pesquisa, no curso de suas investigações, na elaboração e interpretação das teorias? Física e Filosofia se perpassam inevitavelmente ou são atividades alheias e distintas?





A tese da independência entre Física e Filosofia tem alguns defensores de peso. Steven Weinberg, Richard Feynman, Stephen Hawking. Pelo menos é o que dizem. Mas, nem Feynman e nem Hawking conseguiram, de fato, tirar um dos pés, por completo, do solo filosófico. Em “O Universo numa Casca de Noz”, Hawking defende que toda teoria física deve estar baseada em uma filosofia da ciência sólida, consistente, que, ao ver dele, seria o falseacionismo de Karl Popper.

É bem verdade que anos depois, em “O Grande Projeto”, ele e Mlodinow voltaram a atacar a filosofia, mas, o fizeram filosofando... A questão é que em “O Grande Projeto” os autores elaboram argumentos filosóficos contra a filosofia, defendem a tese filosófica do “realismo dependente de modelo”, citam mais de uma dezena de filósofos e acabam mirando em um alvo e acertando em outro, pois no saldo geral fica explícito que não conseguem pensar determinadas questões de física e cosmologia, sem filosofar.

Isso fica claro quando os autores encaram certos problemas como “o que é ciência?”, “quais os limites e as possibilidades do conhecimento científico?”, “O que é uma teoria?”, “Qual é a diferença entre teoria e modelo?”, “como escolher um modelo dentre duas alternativas concordantes com a experiência?”, “o que significa dizer que uma teoria é elegante ou simples?”. O mais interessante nesse caso é que, independente das respostas, o simples fato de colocarem tais perguntas já constitui um exercício filosófico.

Para percebermos a presença da filosofia no pensamento de Feynman, a despeito de suas críticas aos “filósofos de gabinete”, basta ler seu “Física em 12 lições”, no qual ele fala dos princípios filosóficos básicos da relatividade e da mecânica quântica em mais de uma passagem. Dentre aqueles que buscam enaltecer a importância mútua que Física e Filosofia exercem entre si, encontram-se, atualmente, nomes como Carlo Rovelli, Roger Penrose, P.J.E. Peebles e George Ellis. Para Rovelli, em seu “A Física precisa da Filosofia, a Filosofia precisa da Física”, físicos e filósofos devem colaborar ativamente, aprofundando a investigação e o diálogo sobre o que é a ciência e qual é a melhor forma de fazê-la e promovê-la. É exatamente o que também defendem George Ellis e Joe Silk em “Método Científico: Em defesa da integridade da física”. Em 2014, no Debate de Munich, a interação e o debate entre físicos, cosmólogos e filósofos demonstrou qual tal diálogo continua vivo e relevante.





Em “Anaximandro, o nascimento do pensamento científico”, Rovelli defende que as ciências naturais constroem sistemas conceituais que visam representar a natureza e oferecer, em algum nível, uma resposta para as questões “o que é isso, o mundo?” e “O que é isso, o real?”. Deste modo, a pesquisa científica encarna, estruturalmente, ideais e pretensões filosóficas. Então temos aqueles que pensam em independência entre Física e Filosofia, e outros que concebem que ambas se encontram (desde sempre e, estruturalmente) emaranhadas. Esse último grupo, em nossa visão, tem historicamente saído vencedor com larga vantagem. Mas uma ressalva é necessária: a partir da segunda metade do século XX, com a reorganização geopolítica do mundo no pós-guerra e seu impacto na institucionalização da ciência a primeira equipe tem feito muito mais barulho e parecido bem mais numerosa do que a segunda.

Mas, quais são os antecedentes históricos daqueles que defendem o “emaranhamento”? Ora, desde que a chamada ciência moderna começou a se formar na Europa, de certo modo herdeira do Renascimento, ciência e filosofia são atividades indissociáveis. Embora o termo *Scientia Naturallis* já apareça entre os filósofos medievais escolásticos, defensores da física aristotélica, como na “Suma teológica” de São Tomás de Aquino, o nome da investigação natural à época de Galileu era Filosofia Natural.

Lembremos que a principal obra de Newton, o *Principia*, se chama “Princípios Matemáticos da Filosofia Natural”. A ciência moderna não nasce de uma ruptura para com a filosofia, mas de uma nova forma de filosofar, fundamentada no renascimento de princípios metafísicos pitagóricos-platônicos, como a matematização da física e a geometrização da natureza, e na realização de experimentos – que, ao contrário do que geralmente enfatizamos, foram, sobretudo, experimentos de pensamento. Sendo assim, a ciência nasce e se desenvolve como um programa filosófico de investigação natural. O termo “cientista” é tardio, aparecendo somente na terceira década do século XIX, com William Whewell na Inglaterra, ele mesmo um filósofo natural.

Durante todo o século XIX e a primeira metade do século XX, os cientistas europeus possuíam sólida e ampla formação filosófica. Não à toa a geração dos fundadores da física relativística e da mecânica quântica é





conhecida como geração dos físicos filósofos, ou “cientistas filósofos”, em uma acepção mais ampla. Planck, Poincaré, Einstein, Eddington, Bohr, Heisenberg, Schrödinger, Pauli, Dirac, Born e outros, escreveram fartamente acerca dos problemas filosóficos da física. No século XIX devemos citar como cientistas filósofos nomes como Maxwell, Hertz, Kirchhoff, Ostwald, Boltzmann, Mach, dentre outros.

Einstein, em “Física e Realidade” defendeu que o físico deve filosofar, sobretudo nos momentos de crise, quando o que está em jogo são os fundamentos da física. Posição semelhante ressoará em “A Estrutura das Revoluções Científicas” de Thomas Kuhn.

Temos nos esforçado para mostrar as várias dimensões filosóficas da pesquisa científica na disciplina de Filosofia da Física do Instituto de Física da UERJ. Por meio de uma colaboração interinstitucional e multidisciplinar, envolvendo o Instituto de Física, o Departamento de Física Nuclear e Altas Energias, o Programa de Pós-graduação em Filosofia, todos da UERJ, a Faculdade de Ciências Humanas da UFMS, bem como pesquisadores de três grupos, Physikós-UFMS, ECTS-UERJ e *International Masterclass Hands on Particle Physics* (DFNAE-UERJ), três universidade estaduais e duas federais*, elaboramos um conteúdo agregando tópicos de filosofia e história da física ministrados por físicos, filósofos e historiadores¹.

Na última edição, realizamos 4 aulas abertas em parceria com o Masterclass, o ECTS (UERJ) e o Physikós (FACH-UFMS), pelo canal de facebook do Cafis-UERJ, totalizando milhares de visualizações, contribuindo, portanto, para a disseminação pública do conhecimento especializado na área. O Masterclass e o Physikós, realizam, desde 2019, uma série de ações de divulgação, obtendo mais de dez mil visualizações nas redes sociais. Colegas do TeHCo, o Grupo de Estudos em História e Teoria dos conheci-

¹ Colaboraram com o curso professores da UERJ, UFMS, UFT, UENF, UFBA, USP, Centro de Filosofia da Ciência da Universidade de Lisboa e do Instituto de Filosofia da Universidade NOVA de Lisboa. Por último, vale registrar que o professor Carlo Rovelli da Aix-Marseille University, nos autorizou, de modo muito cortês, a publicar a tradução que fizemos para o seu texto “Os perigos da confirmação não-empírica”, utilizado na disciplina. Encaminhamos nosso agradecimento ao professor Rovelli por sua inestimável colaboração com o presente livro!





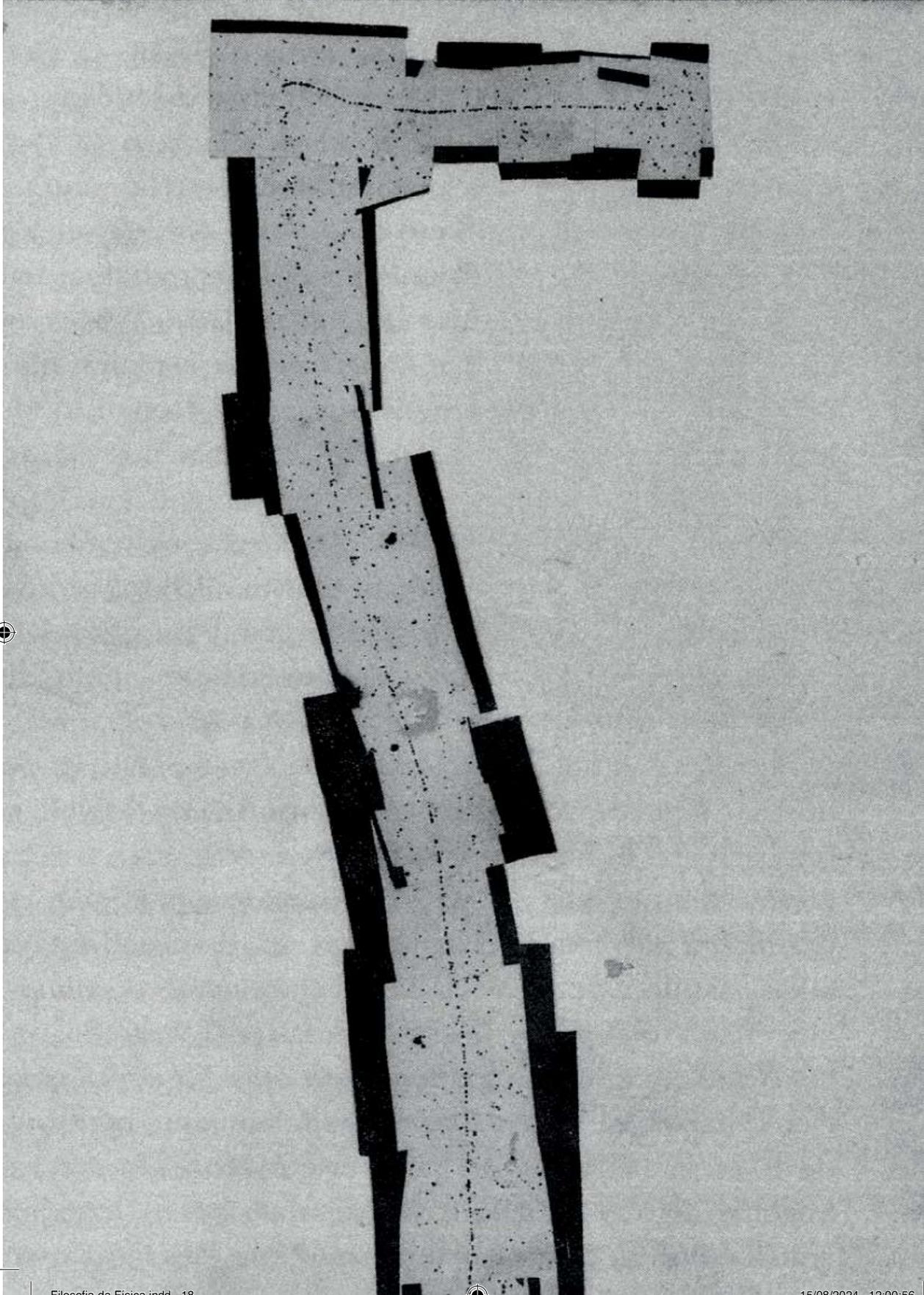
mentos do Instituto de Física da USP tem colaborado ativamente conosco. A rede cresce e as conexões se expandem! A partir do curso, outras portas se abriram, e seminários de Filosofia da Física foram ministrados por nosso grupo no Programa de Pós-graduação em Física Aplicada da UFRJ.

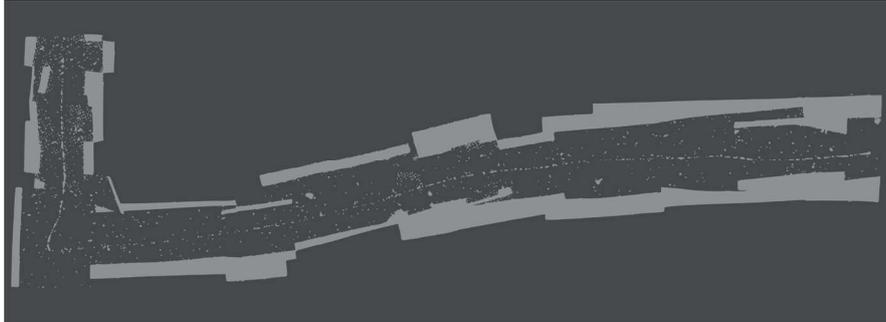
Nós não somente acreditamos, como promovemos o “emaranhamento” entre Física e Filosofia. Não somente porque defendemos a tese de que Física e Filosofia estão entrelaçadas, inevitavelmente, tanto em nível epistemológico, quanto em sentido histórico, mas sobretudo por que, de fato, em nosso trabalho concreto, em nossas práticas de ensino, pesquisa e extensão, temos encarnado essa atitude e trabalhado em conjunto. Somos dois físicos e dois filósofos, ou dois filósofos e dois físicos, ou simplesmente quatro seres humanos movidos pela paixão comum pelo conhecimento da natureza, pela busca por compreensão do real. Mais do que isso, o fato é que os anos passaram e não perdemos aquele espanto inicial diante do mistério do mundo. É o real, a natureza, que nos encantam, e desejamos transmitir isso ao maior número de pessoas.

Agradecemos ao Programa de Pós-Graduação em Filosofia da Universidade do Estado do Rio de Janeiro (PPGFIL-UERJ), na pessoa de seu coordenador Prof. Dr. Edgar da Rocha Marques, pelos recursos Proap-CAPES (Processo 88881.883426/2023-0) que possibilitaram a publicação dessa obra.



Brown 0/11/77





UMA INTRODUÇÃO À FILOSOFIA DA FÍSICA

Oswaldo Pessoa Jr.

Universidade de São Paulo

O que é a Filosofia da Física?

A *Filosofia da Física* é a área que discute os problemas não resolvidos da descrição física do mundo, sendo que muitos desses problemas estão na fronteira da pesquisa física atual.

Dentre os grandes problemas da Filosofia da Física, podemos mencionar a questão do início do tempo, a de se o universo é determinista, o problema da irreversibilidade, se o espaço é absoluto ou relativo, as implicações filosóficas do teorema de Bell na Física Quântica, e o debate entre reducionismo e emergentismo.²

Este texto não abordará nenhum desses problemas, mas tecerá alguns comentários introdutórios sobre a Filosofia da Física, buscando definir o que é “Física”, delinear qual é o trabalho do físico ou da fisicista, explorar

² Quatro dessas questões são resumidas no texto de divulgação Pessoa (2014). A presente aula foi ministrada para o curso de Filosofia da Física, UERJ, em 26/08/2021, e o material da aula foi extraído das Notas de Aula do curso de Filosofia da Física da USP (Pessoa, 2020, seções I.1, II.1,3,4,5,6, III.1). Em português, alguns livros gerais sobre a Filosofia da Física podem ser mencionados: Bunge (1973), Sklar (2021), Redhead (1995) e Penrose (1998).





qual a relação desta área com a Filosofia, definir “realismo” e “antirrealismo”, explicar porque a Física Moderna é contraintuitiva, inclusive no domínio mesoscópico, e explorar as fronteiras da Física da Consciência.

Física e Filosofia

O trabalho do físico se concentra em pelo menos quatro pontos centrais: (1) desenvolvimento da linguagem *matemática* para representar fenômenos do mundo natural; (2) realização de *experimentos* para explorar este mundo; (3) elaboração de programas *computacionais* que simulem um modelo do mundo físico ou que processem dados; (4) investigação dos *conceitos* das teorias científicas e geração de novas ideias.

Além disso, há pelo menos quatro outras atividades periféricas que são importantes na interface entre ciência e sociedade: (5) desenvolvimento de aplicações *tecnológicas*; (6) *ensino* e divulgação científica; (7) *organização* do trabalho científico, por meio de políticas de incentivo e distribuição de recursos; (8) ciência “complementar” (termo devido a CHANG, 2008): história, filosofia, psicologia e sociologia da ciência.

Dos pontos centrais da física, a filosofia da ciência (mencionada no último item) se debruça principalmente sobre o ponto (4), estudando os conceitos da física, seu significado, desenvolvimento histórico e problemas. O ensino de ciências também se debruça sobre conceitos (além dos outros três itens centrais, de maneira introdutória), mas ele não procura se deter nos problemas não-resolvidos da ciência, ao contrário da filosofia, que prospera no terreno das questões sem solução definida.

Há dois tipos principais de investigações em filosofia da ciência. A análise das coisas existentes no mundo físico, e dos conceitos que a elas se referem, é chamada de *ontologia*, que significa “estudo do ser” ou daquilo que existe. Por outro lado, a discussão de como a investigação científica funciona, quais os traços gerais de sua metodologia, e qual a relação entre teoria e realidade, recebe o nome de *epistemologia*, ou “estudo do conhecimento”. Às vezes, o termo “epistemologia” é usado em um sentido mais amplo, englobando a ontologia.

