

Análise de um sistema complexo baseado em egressos do Ensino de Física *Stricto Sensu* no Brasil entre 1972 e 2006

Analysis of a complex system based on graduates of Stricto Sensu Physics Teaching in Brazil between 1972 and 2006

Jefferson Oliveira do Nascimento¹, Hernane Borges de Barros Pereira², Marcelo Albano Moret³.

RESUMO

A presente pesquisa traz resultados da atuação profissional de egressos do Ensino de Física no Brasil, no período de 1972-2006. O objetivo deste artigo é o de apresentarmos o método de construção de uma rede complexa de 2-modos/rede de afiliação tendo como base os autores de dissertações, teses de doutorado e de livre docência e os atuais locais de atuação profissional daqueles que se encontram na ativa profissional. Também utilizamos a teoria dos grafos e a teoria de redes sociais e complexas para o presente estudo. As arestas na rede são estabelecidas entre os autores de dissertações e teses e os locais de trabalhos deles. Das 891 referências *Stricto Sensu* da área de Ensino de Física, encontramos 580 Currículos Lattes com as referidas informações, ou seja, Físicos atuantes no mercado profissional. Constatamos que dos profissionais que se encontram na ativa, 72% deles estão atuando e distribuídos em Instituições de Ensino Superior Públicas, da iniciativa privada ou instituições de ensino internacional. Cerca de 17% deles são professores na Educação Básica pública ou privada. Os demais, estão em Empresas privadas ou Estatais, Clínicas, Agência de Fomentos, Secretarias, Ministérios etc. Ao fim, pudemos perceber que a maioria dos profissionais estão trabalhando diretamente em instituições de ensino nos diferentes níveis da educação.

Palavras-chave: Redes Complexas. Redes Sociais e Complexas. Grafos bipartidos. Ensino de Física.

ABSTRACT

The present research brings results of the professional performance of graduates of Physics Teaching in Brazil, in the period of 1972-2006. The purpose of this article is to present the method of building a complex network of 2-modes/affiliation network based on the authors of dissertations, doctoral theses and free teaching and the current places of professional activity of those who are active professionally. We also used graph theory and social and complex network theory for the present study. The edges in the network are established between the authors of dissertations and theses and their places of work. Of the 891 "Stricto Sensu" references in Physics Teaching, we found 580 Lattes CVs with the aforementioned information, that is, Physicists working in the professional field. We found that of the professionals who are active, 72% of them are working and distributed in Public Higher Education Institutions, of the private initiative or international education institutions. About 17% of them are teachers in public or private Basic Education. The others are in private or state companies, clinics, funding agencies, secretariats, ministries, etc. In the end, we could see that most professionals are working directly in educational institutions at different levels of education.

Keywords: Complex Networks. Social and Complex Networks. Bipartite graphs. Physics Teaching.

¹ Doutor em Modelagem Computacional e Tecnologia Industrial – Sistemas Complexos (Departamento de Modelagem Computacional, CIMATEC/BA, Brasil), SECTECT/PA e FAI/PA. E-mail: jeffersonascimento@gmail.com.

² Doutor em Engenharia Multimídia (Universidade Politécnica de Cataluña), Universidade do Estado da Bahia; Programa de Modelagem Computacional - CIMATEC - Salvador/BA. E-mail: hernanebbpereira@gmail.com.

³ Doutor em Biofísica (UFRJ), Universidade do Estado da Bahia; Programa de Modelagem Computacional - CIMATEC - Salvador/BA. E-mail: mamoret@gmail.com

1. INTRODUÇÃO

Os avanços ocasionados pela física proporcionaram o desenvolvimento industrial de grandes empresas no mundo, como a Bell Telephone, IBM e a GE. Tal reconhecimento com as ciências físicas podem ser conferidos na obra de Brinkman e Lange (1999), em que é destacado os avanços industriais na área de telecomunicações por meio de pesquisas principalmente em física do estado sólido. Para o Brasil o destaque da “Indústria Baseada em Física” ocorre na área de comunicações ópticas (CRUZ, 2005).

O relatório da Sociedade Brasileira de Física (SBF) de 2012 informa que até o ano de 2009 havia 2651 mestres e doutores em ciências físicas, aproximadamente no Brasil. Cerca de 1856 destes profissionais se encontravam em atividades relacionadas à educação pública ou privada. Do total estimado, cerca de 270 desenvolviam suas atividades profissionais em Pesquisa, Desenvolvimento e Inovação (PD&I) nas empresas e entidades sem fins lucrativos:

As principais ocupações se relacionavam com atividades econômicas associadas à indústria extrativa e à de transformação, atividades profissionais científicas e técnicas e à defesa, sendo que o número de físicos nas três primeiras áreas correspondia a cerca de 10% do de engenheiros (SBF, 2012).

Uma forma de avaliação das pesquisas desenvolvidas nas diversas instituições nacionais, produtoras do conhecimento fundamental e competitivo tanto à indústria nacional quanto internacional, em física, foi observado nas análises de redes semânticas complexas na pesquisa de Nascimento (2019), por exemplo. Conforme a base de dados utilizados para construção das redes bipartidas que alicerçam os estudos desta pesquisa, os programas de pós-graduações escolhidos pelos autores de dissertações e teses, foram diversificados. Programas em Física, Psicologia, Engenharias, Educação, dentre outros, assim como em Nascimento et al. (2019, 2021). Em Nascimento (2019) foi possível verificar nas redes semânticas complexas indícios de pesquisas feitas por egressos da pós-graduação *Stricto Sensu* em Ensino de Física no Brasil, que estavam/estão atuando profissionalmente no campo industrial ou PD&I.

Na presente pesquisa, nossa análise por meio de redes complexas, representará o local de atuação profissional dos egressos dos mestrados e doutorados em Ensino de Física. Desta forma responderemos à pergunta: onde os autores/egressos (no período de 1972-2006) de dissertações e teses em Ensino de Física estão trabalhando?

Este trabalho está organizado em 5 seções. Na segunda, apresentaremos os materiais e métodos utilizados à construção da rede complexa, alicerçada em grafos bipartidos. Na terceira, os resultados e as discussões referentes à rede construída e analisada são apresentados. Na quarta seção, as considerações finais desta pesquisa. Na quinta, os agradecimentos e na sexta sessão, as referências.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

Para realizarmos a investigação sobre a atuação profissional dos egressos dos programas em Ensino de Física no Brasil, realizarmos a construção e a análises de uma rede de afiliação (2-modos). Para tanto, utilizamos os índices pertencentes à estatística de grafos bipartidos, conforme exposto por Latapy, Magnien e Del Veccio (2008) e Nascimento, Pereira e Moret (2018): conjunto de vértices, composto por atores e eventos ($V = \{N, M\}$), conjunto de arestas (E), grau médio ($\langle k \rangle$), caminho mínimo médio (L), diâmetro (D) e a densidade (Δ).

- Conjunto de atores e eventos:

Para a rede de 2-modos temos $G = (\{N, M\}, E)$, em que N é o conjunto de atores (modo 1), denotado por $N = \{n_1, n_2, \dots, n_g\}$ e M é o conjunto de eventos (modo 2), $M = \{m_1, m_2, \dots, m_h\}$. Um ator n ($n \in N$) é afiliado a m ($m \in M$), se n é membro de m , ou seja, $(n, m) \in E$.

- Grau médio do modo 1 ($\langle k_n \rangle$), modo 2 ($\langle k_m \rangle$) e de toda a rede ($\langle k \rangle$):

$$\langle k_M \rangle = \frac{m}{n_N} \quad (1)$$

$$\langle k_N \rangle = \frac{m}{n_M} \quad (2)$$

$$\langle k \rangle = \frac{n_N \cdot k_N + n_M \cdot k_M}{n_N + n_M} \quad (3)$$

- Densidade da rede de 2-modos ($\Delta G'_{2m}$):

$$\Delta G'_{2m} = \frac{2m}{(n_N + n_M) \cdot (n_N + n_M - 1)} \quad (4)$$

Com base nas informações anteriores, a rede de 2-modos que representa a atuação profissional dos egressos na área de Ensino de Física, tem como atores os autores de trabalhos *Stricto Sensu* e, os eventos, corresponderam justamente aos locais que se encontram atualmente desenvolvendo suas atuações profissionais. Desta forma, das 891 referências de dissertações, teses de doutorado e de livre-docência da área de Ensino de Física, encontramos 580 Currículos Lattes com as referidas informações.

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Conforme a metodologia apresentada anteriormente, apresentamos na Figura 1, a representação da rede de afiliação/2-modos correspondente à atuação profissional dos autores de dissertações e teses em Ensino de Física, no período de 1972-2006:

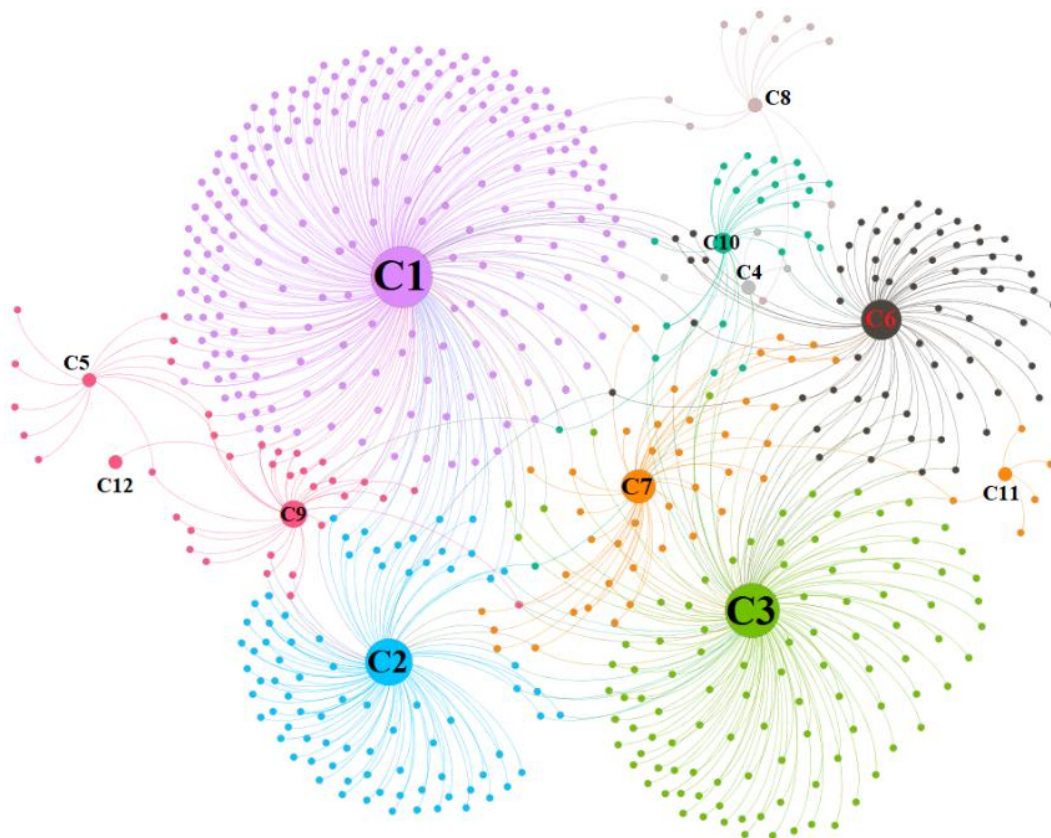


Figura 1. Rede de afiliação (2-modos) entre os autores dos trabalhos *Stricto Sensu* em Ensino de Física e o local de atuação profissional deles. **Fonte:** Nascimento (2019).

Na rede complexa da Figura 1, utilizando os algoritmos *Não sobrepor* e *Fruchterman Reingold*, por meio do *software Gephi*, para melhor visualização dos *hubs* e demais vértices. Assim, foi possível realizar disposição dos vértices como se encontram na Figura 1, destacando o modo eventos, que correspondem às categorias construídas, que vão de **C1** a **C12**. As cores dos vértices estão de acordo com a correspondente categoria

a que eles estão conectados. Os tamanhos dos modos que que representam as categorias, estão em proporcionalidade com o grau de conexão de cada um. As cores foram escolhidas de forma aleatória apenas para diferenciarmos os vértices.

Apresentamos na Tabela 1 os índices de redes complexas para a rede de 2-modos da Figura 1:

Tabela 1. Índices de redes complexas verificados para a rede complexa de 2-modos.

Rede	$n = V $	$m = E $	Qt. Comp.	Comp. Gigante (%)	$\langle k \rangle$	Δ	L	D
Rede de 2-modos	592	715	1	100	2,416	0,004	3,369	8

Fonte: Nascimento (2019).

Conforme os dados apresentados na Tabela 1, o valor do grau médio ($\langle k \rangle$) aponta na direção de no máximo 3 conexões por atores para um evento e, 273 conexões no total recebidas para um único evento: atividades profissionais em Universidades Federais/Institutos Federais. O baixo valor de densidade verificado indica uma rede esparsa, com pouca coesão.

Os autores de trabalhos em Ensino de Física estão desenvolvendo suas atividades profissionais instituição de ensino e, para o caso abordado, a possibilidade de articulação e/ou colaboração locais distintos de atuações profissionais, corresponde ao seguinte fato: um autor trabalhar em mais de uma categoria institucional profissional, ocorrendo um possível intercâmbio de informação (conforme categorias apontadas, a seguir).

O valor verificado para o caminho mínimo médio (L), indica que em média, são necessárias aproximadamente 3 arestas para conectarem dois vértices. Ao observarmos o diâmetro (D), o valor obtido é 8, o que indica o fato de que dois vértices estão conectados entre si por no máximo 8 outros vértices, retratando também o qual esparsa é a rede.

Para construirmos a rede de 2-modos da Figura 1, conforme Nascimento (2019) e Nascimento et al. (2019, 2021) foi necessário criarmos categorias para que fosse possível agruparmos os diversos locais de atuações profissionais, encontrados nos 580 Currículos *Lattes*. Conforme Quadro 1, após esta análise, destacamos as seguintes categorias:

Quadro 1. Categorias e locais de atuações profissionais.

Nomenclatura da categoria	Categorias
---------------------------	------------

C1	Universidades e Institutos Federais.
C2	Universidades Estaduais.
C3	Instituições de nível superior não-públicas.
C4	Entidade sem fins lucrativos.
C5	Universidades/Instituições internacionais.
C6	Educação básica pública.
C7	Educação básica privada.
C8	Empresas nacionais e clínicas médicas.
C9	Sociedades, associações, agências de fomentos e fundações.
C10	Secretarias de Segurança Públicas e Ministério da defesa; Agência Nacional de Saúde, Agência Nacional de Vigilância Sanitária, Conselhos Estaduais de Educação; Embrapa, Fiocruz; Museus; Centrais Elétricas, hospitais e assembleias Legislativas.
C11	Petrobras, Sistema S, Comissão Nacional de Energia Nuclear etc.
C12	Revistas científicas.

Fonte: Adaptado de Nascimento (2019).

Conforme Figura 1, apresentamos na Tabela 2, as categorias e a centralidade de grau de cada uma na rede de 2-modos da Figura 1:

Tabela 2. Categorizações e suas respectivas centralidades de Grau da rede de 2-modos.

Modo 1	Grau (k)	%
C1	k=273	38,18%
C3	k=146	20,41%
C2	k=91	12,72%
C6	k=76	10,62%
C7	k=43	6,01%
C9	k=28	3,91%
C10	k=25	3,49%
C5	k=12	1,67%
C8	k=11	1,53%

C11	k=5	0,69%
C4	k=4	0,55%
C12	k=1	0,13%

Fonte: Nascimento (2019).

O maior destaque (centralidade de grau) na rede de 2-modos correspondeu a C1 (Categoria 1), cerca de 38% das arestas na rede da Figura 1, corresponderam a autores de dissertações e teses em Ensino de Física que se encontram em atividades profissionais em Universidades Públicas Federais ou Institutos Federais. Com cerca de 20% das arestas na rede de 2-modos (C3), correspondem a Universidades, Centro Universitários, Centros Superiores, Faculdades em que se encontram os egressos do Ensino de Física. Com aproximadamente 12% das conexões na rede de afiliação, estão as Universidades Estaduais (C2) como locais de trabalhos dos supracitados egressos. Com cerca de 10% das arestas na rede de 2-modos, a Educação Básica na rede pública de Ensino (C6) corresponde ao local de atuação profissional dos egressos e com 6% das conexões, a Educação Básica privada (C7).

Como crença, ao iniciarmos especificamente as pesquisas em busca destes locais de atuações profissionais, acreditávamos que os egressos que se encontrassem ativos no mercado de trabalho, estariam em instituições de ensino superior ou na educação básica. Porém, das categorias C8 até a C12, conforme Tabela 2, eles ocupam atualmente cargos em: empresas, clínicas médicas, sociedades e associações – como a Sociedade Brasileira de Física (SBF) ou a Associação Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências (ABRAPEC), etc.

Encontram-se também em Ministérios e Secretarias fora da área de Ensino, como o Ministério da Defesa ou Secretarias de Segurança Estaduais. Empresas relacionadas a Hidrocarbonetos (Petrobrás) ou Assembleias Legislativas também são locais de trabalho dos egressos, dentre outros.

Conforme Tabela 2, observamos que número de vértices máximo para um ator (autor de trabalho *Stricto Sensu*) na rede, correspondeu a $n=3$. Este valor indica que um egresso, encontra-se atuando profissionalmente em 3 instituições (3 categorias) diferentes. Desta forma, conforme Figura 1, podemos verificar quais atores estão atuando em mais de um

local de trabalho concomitantemente. Assim, apresentamos na Tabela 3, as 49 possibilidades resultantes da referida análise:

Tabela 3. Categorizações e suas respectivas centralidades de Grau da rede de 2-modos (Figura1) considerando um ator participar concomitantemente em mais de um evento.

Modo 1	K	%		Modo 1	K	%
C1	221	37,7%		$C1 \cap C7$	2	0,034%
C3	97	16,5%		$C1 \cap C5 \cap C9$	2	0,034%
C2	61	10,4%		C4	1	0,017%
C6	45	7,69%		$C3 \cap C6 \cap C7$	1	0,017%
$C3 \cap C6$	14	2,39%		$C6 \cap C11$	1	0,017%
C7	14	2,39%		$C2 \cap C10$	1	0,017%
$C1 \cap C9$	13	2,22%		$C7 \cap C10$	1	0,017%
C10	13	2,22%		$C1 \cap C3 \cap C6$	1	0,017%
$C3 \cap C7$	12	2,05%		$C1 \cap C3 \cap C7$	1	0,017%
$C1 \cap C2$	11	1,88%		$C4 \cap C6$	1	0,017%
C8	8	1,36%		$C3 \cap C4$	1	0,017%
C5	5	0,85%		$C2 \cap C3 \cap C7$	1	0,017%
$C2 \cap C3$	5	0,85%		$C1 \cap C2 \cap C6$	1	0,017%
$C6 \cap C7$	5	0,85%		$C3 \cap C8$	1	0,017%
$C1 \cap C3$	4	0,68%		$C1 \cap C10$	1	0,017%
$C2 \cap C9$	4	0,68%		$C3 \cap C7 \cap C11$	1	0,017%
$C1 \cap C6$	4	0,68%		$C3 \cap C7 \cap C9$	1	0,017%
C9	4	0,68%		$C1 \cap C2 \cap C9$	1	0,017%
$C1 \cap C5$	4	0,68%		$C1 \cap C8$	1	0,017%
$C2 \cap C7$	3	0,51%		$C6 \cap C8 \cap C10$	1	0,017%
$C6 \cap C10$	3	0,51%		$C5 \cap C9$	1	0,017%
C11	3	0,51%		$C1 \cap C4$	1	0,017%
$C3 \cap C10$	2	0,034%		$C1 \cap C9 \cap C10$	1	0,017%
$C1 \cap C2 \cap C3$	2	0,034%		$C1 \cap C9 \cap C12$	1	0,017%

$C1 \cap C3 \cap C10$	2	0,034%				
-----------------------	---	--------	--	--	--	--

Fonte: Dos autores.

Comparando a Tabela 2 com a Tabela 3, as 4 primeiras categorias em termos de importâncias por meio de suas conexões, mantem-se suas posições. O 5º lugar mais importante corresponde aos atores que desenvolvem atividades profissionais, ao mesmo tempo em C3 e C6, ou seja: trabalham em instituições de nível superior não-públicas e na educação básica pública.

Seguindo este raciocínio, o evento ($C1 \cap C9$), que se encontra em 7º lugar de destaque na rede de 2-modos da Figura 1, apresenta os atores que se encontram nas Instituições Federais de Ensino e em Associações/Agências de fomento/Fundações. Em 9º lugar na rede, temos a configuração ($C3 \cap C7$), ou seja, profissionais atuando em Instituições de Ensino Superior não-públicas e na Educação Básica Privada.

Em 10º lugar temos ($C1 \cap C2$), ou seja, autores de dissertações e teses que estão em Instituições Federais e Estaduais de Ensino Superior. Destacamos para a presente análise a 24ª posição em destaque, ($C1 \cap C2 \cap C3$), ou seja, atores que estão lotados em Instituições Federais, Estaduais e não-públicas de ensino.

Vale ressaltar que o ator que afirma em seu Currículo *Lattes* desenvolver atividades profissionais em revistas científicas indexadas (C12), corresponde a única ligação na última posição da rede semântica de 2-modos da Figura 1, com a configuração ($C1 \cap C9 \cap C12$), ou seja, pertence a uma Instituição Federal de Ensino, atua também em Sociedades/Associações e em revista científica indexada.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A presente pesquisa teve como objetivo construir e analisar uma rede complexa, utilizando grafos bipartidos, para representar a localização atual profissional dos autores (pertencentes a base de dados) dos trabalhos *Stricto Sensu* em Ensino de Física do país. Desta forma realizamos a investigação sobre a atuação profissional dos autores dos trabalhos *Stricto Sensu* em Ensino de Física no Brasil, por meio da análise de uma rede de 2-modos.

Em análise da rede, foi possível verificar que, das categorias suscitadas para representarem os locais de trabalho, 72% dos profissionais estão atuando e distribuídos em Instituições de Ensino Superior Públicas, da iniciativa privada ou instituições de ensino internacional.

Aproximadamente 17% dos profissionais estão atuando como professores na Educação Básica pública ou privada. Podemos perceber que a maioria dos profissionais que se encontram ainda na ativa estão trabalhando diretamente em instituições de ensino nos diferentes níveis da educação.

AGRADECIMENTOS

Jefferson Nascimento agradece à FAPESB por meio do então apoio financeiro parcial recebido através da bolsa de pesquisa (BOL170/2015) que derivou a presente obra. Marcelo A. Moret agradece ao CNPq pelo suporte financeiro parcial oriundo de sua bolsa de Produtividade em Pesquisa (No. 305291/2018-1).

REFERÊNCIAS

BRINKMAN, W.; LANGE, D. V. Physics and the communications industry. **Reviews of modern physics**, v. 71, p. S480-S488, 1999.

CRUZ, Carlos H. de Brito. Física e indústria no Brasil. **Ciência e Cultura**, São Paulo, v. 57, n. 3, p. 47-50, 2005 .

LATAPY, M.; MAGNIEN, C.; DEL VECCHIO, N. Basic notions for the analysis of large two-mode networks. **Social Networks**, vol. 30, núm. 1, pág. 31-48, 2008.

NASCIMENTO, J. O. do. **Redes sociais e complexas: redes semânticas do Ensino de Física Brasileiro**. 124f. Tese (Doutorado em modelagem computacional e tecnologia industrial) – Centro Universitário Senai CIMATEC, Salvador, 28 jun. 2019

NASCIMENTO, J. O. do; PEREIRA, H. B. B. ; CARVALHO, J. D. S. G. ; MORET, M. A. Time-Varying Graphs e séries temporais: Análise do ensino de física nacional por meio de redes semânticas complexas. **REVISTA CEREUS**, v. 13, p. 228-244, 2021. Disponível em: < <http://ojs.unirg.edu.br/index.php/1/article/view/3397/1764>> . Acesso em 17 de jun. 2022

NASCIMENTO, J. O. do; PEREIRA, H. B. B.; CUNHA, M. V.; MORET, M. A. Sistemas complexos e Ciências das redes: redes semânticas baseadas em abstracts e keywords do Ensino de Física Nacional. **REVISTA CEREUS**, v. 11, p. 161-183, 2019. Disponível em: < <http://ojs.unirg.edu.br/index.php/1/article/view/2695/783>>. Acesso em: 02 de jun. 2022.

NASCIMENTO, J. O. do; PEREIRA, H. B. B.; MORET, M. A. Redes de afiliação no ensino de física brasileiro: uma análise dos programas de pós-graduações por meio de redes sociais e complexas. **Revista Mundi Engenharia, Tecnologia e Gestão**, v. 3, p. 58-1-58-15, 2018. Disponível em: <<https://periodicos.ifpr.edu.br/index.php?journal=MundiETG&page=article&op=view&path%5B%5D=543&path%5B%5D=194>>. Acesso em 02 de jun. 2022.

SBF. Relatório: **A Física e o desenvolvimento nacional**. Brasília: Centro de Gestão e Estudos Estratégicos (CGEE)/Sociedade Brasileira de Física, 2012.