

UNIVERSIDADE FEDERAL FLUMINENSE  
INSTITUTO DO NOROESTE FLUMINENSE DE EDUCAÇÃO SUPERIOR  
DEPARTAMENTO DE CIÊNCIAS EXATAS, BIOLÓGICAS E DA TERRA  
LICENCIATURA EM FÍSICA

ALINE APARECIDA DA COSTA GRANJA

**ANTIPARTÍCULAS NO ENSINO MÉDIO: ANÁLISE DOS LIVROS  
DIDÁTICOS E PROPOSTA DE ABORDAGEM**

SANTO ANTÔNIO DE PÁDUA  
2021

ALINE APARECIDA DA COSTA GRANJA

**ANTIPARTÍCULAS NO ENSINO MÉDIO: ANÁLISE DOS LIVROS  
DIDÁTICOS E PROPOSTA DE ABORDAGEM**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Graduação em Licenciatura em Física, do Departamento de Ciências Exatas, Biológicas e da Terra da Universidade Federal Fluminense, como requisito parcial para a obtenção do Grau de Licenciado em Física.

Orientadora:

Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Maria Danielle Rodrigues Marques

Co-orientadora:

Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Maria Carmen Morais

Santo Antônio de Pádua

2021

Ficha catalográfica automática - SDC/BINF  
Gerada com informações fornecidas pelo autor

G748a Granja, Aline Aparecida da Costa  
ANTIPARTÍCULAS NO ENSINO MÉDIO : ANÁLISE DOS LIVROS  
DIDÁTICOS E PROPOSTA DE ABORDAGEM / Aline Aparecida da Costa  
Granja ; Maria Danielle Rodrigues Marques, orientadora ; Maria  
Carmen Morais, coorientadora. Santo Antônio de Pádua, 2021.  
55 f. : il.

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Física)-  
Universidade Federal Fluminense, Instituto do Noroeste  
Fluminense de Educação Superior, Santo Antônio de Pádua,  
2021.

1. Antimatéria. 2. Livros Didáticos. 3. Ciências. 4.  
BNCC. 5. Produção intelectual. I. Marques, Maria Danielle  
Rodrigues, orientadora. II. Morais, Maria Carmen,  
coorientadora. III. Universidade Federal Fluminense. Instituto  
do Noroeste Fluminense de Educação Superior. IV. Título.

CDD -

ALINE APARECIDA DA COSTA GRANJA

**ANTIPARTÍCULAS NO ENSINO MÉDIO: ANÁLISE DOS LIVROS  
DIDÁTICOS E PROPOSTA DE ABORDAGEM**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Graduação em Licenciatura em Física, do Departamento de Ciências Exatas, Biológicas e da Terra da Universidade Federal Fluminense, como requisito parcial para a obtenção do Grau de Licenciado em Física.

Aprovado em 12 de Agosto de 2021.

BANCA EXAMINADORA

---

Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Maria Danielle Rodrigues Marques – INFES/UFF  
Orientadora

---

Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Maria Carmen Morais – INFES/UFF  
Co-orientadora

---

Prof.<sup>o</sup> Dr.<sup>o</sup> Marciano Alves Carneiro – INFES/UFF

---

Prof.<sup>o</sup> Dr.<sup>o</sup> Juan Lucas Nachez – INFES/UFF

Santo Antônio de Pádua  
2021

*Dedico este trabalho aos meus pais, Paulo César e Iliene, e irmãs, Paula e Pauliene, que foram fundamentais na minha jornada, me apoiando e dando forças nos momentos difíceis para que conseguisse percorrer este longo caminho até o final.*

# AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente à Deus, cientista dos cientistas, por me conceder a honra da aprendizagem. Também a minha família por todo amor, carinho e apoio durante os momentos mais difíceis sobre os quais atravessamos juntos. A Instituição por sempre buscar proporcionar um ambiente de estudos confortável para os alunos. De maneira especial à Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Maria Danielle, por aceitar conduzir este trabalho, que me acompanha desde os anos de ensino médio, sempre me incentivando em busca do conhecimento e enxergando em mim uma capacidade além do que eu mesma pudesse ver, e à Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Maria Carmen, fundamental para mim durante o curso, me orientou no projeto de Iniciação Científica e não me deixou desanimar, sempre me estimulando, sem medir esforços quando necessitava da sua ajuda. Agradeço a todos os professores, pela excepcional maestria e que, sempre preocupados com a aprendizagem dos alunos, buscam as melhores formas de transmitir conhecimento. E aos meus amigos, por todas as conversas de desabafo e apoio e todos aqueles que, direta ou indiretamente, participaram desta jornada. Em especial, Juan Carlos, Henrique e Silvio, que dispunham ajudar a qualquer momento que fosse necessário.

*Conhecimento não é aquilo que você sabe, mas o que você faz com aquilo que você sabe.*

*(Aldous Huxley)*

## RESUMO

A Física de Partículas Elementares compõe uma das grandes áreas da pesquisa científica. Nesta perspectiva, compreendida a incorporação da área pela BNCC, buscou-se aspectos ligados à contemporaneidade que fossem capazes de conectá-la aos estudantes da Educação Básica. Tendo visto o grande potencial correlativo dos assuntos relacionados à antimatéria, desde o entretenimento à tecnologia, as antipartículas demonstram ser um tópico fascinante e interessante a fim de ser utilizado introdutoriamente à Física de Partículas. Assim, com o objetivo de avaliar a abordagem desse tópico no principal material didático utilizado nas escolas como guia das disciplinas, o Livro Didático, este trabalho promoveu o levantamento bibliográfico do desenvolvimento do assunto. O levantamento foi realizado em 12 livros recomendados pelo PNLD 2018, sendo observados três fatores principais: contextualização do tema; processos de produção e aniquilação de pares; e aplicações. Percebido uma abordagem superficial na maioria das obras e, por vezes, sem consenso entre elas, foi elaborado um material de apoio sobre Partículas e Antipartículas, em que, inicialmente, foi realizada uma contextualização histórica sobre a descoberta do pósitron, seguida da explicação da produção e aniquilação de pares e, por fim, foram apresentados estudos, aplicações (na medicina e na produção de energia) e a presença das antipartículas no cotidiano. Procurou-se, também, fazer analogias a obras de ficção científica, esclarecendo as possibilidades e impossibilidades dos acontecimentos.

**Palavras-chave:** Antimatéria; Livros Didáticos; Ciência; BNCC.



# ABSTRACT

Elementary Particle Physics is one of the major areas of scientific research. From this perspective, understanding the incorporation of the area by the BNCC, we sought aspects related to contemporaneity that were able to connect it to students of Basic Education. Having seen the great correlative potential of issues related to antimatter, from entertainment to technology, antiparticles prove to be a fascinating and interesting topic to be used as an introductory to particle physics. Thus, in order to evaluate the approach to this topic in the main teaching material used in schools as a guide of the subjects, the Textbook, this work promoted the bibliographic survey of the development of the subject. The survey was carried out in 12 books recommended by PNLD 2018, being observed three main factors: contextualization of the theme; pair production and annihilation processes; and applications. Perceiving a superficial approach in most of the books and, sometimes, without consensus among them, it was elaborated a support material about Particles and Antiparticles, in which, initially was performed a historical contextualization about the discovery of the positron, followed by the explanation of the production and annihilation of pairs and, finally, studies were presented, applications (in medicine and in energy production) and the presence of antiparticles in everyday life. It was also sought to make analogies to works of science fiction, clarifying the possibilities and impossibilities of the events.

**Keywords:** Antimatter; Textbooks; Science; BNCC.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 2.1 – Matrículas na Educação Básica brasileira: 2015-2020 . . . . .	20
Figura 2.2 – Distribuição percentual de matrículas por rede de educação no Brasil em 2020 . . . . .	21
Figura 5.1 – Hidrogênio e Anti-hidrogênio . . . . .	43
Figura 5.2 – Diagrama do processo de produção de pares . . . . .	44
Figura 5.3 – Diagrama do processo de aniquilação de pares . . . . .	45
Figura 5.4 – Decaimento do carbono-11 em boro-11 por emissão $\beta^+$ e posterior aniquilação elétron-pósitron . . . . .	47

## LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Livro do PNLD 2018 analisados . . . . .	29
Quadro 2 – Resultado da análise dos livros, seguindo a abordagem de Partículas e Antipartículas . . . . .	30

## LISTA DE TABELAS

Tabela 5.1 – Partículas e Antipartículas . . . . .	42
Tabela 5.2 – Principais radionuclídeos emissores $\beta^+$ . . . . .	46

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

BNCC	Base Nacional Comum Curricular
HFC	História e Filosofia da Ciência
PET	Positron Emission Tomography
PNLD	Programa Nacional do Livro e do Material Didático
LDs	Livros Didáticos
FMC	Física Moderna e Contemporânea
LDB	Lei de Diretrizes e Bases da Educação Nacional
MEC	Ministério da Educação
PCN	Parâmetros Curriculares Nacionais
ProBNCC	Programa de Apoio à Implementação da Base Nacional Comum Curricular
ENEM	Exame Nacional do Ensino Médio
UNICAMP	Universidade Estadual de Campinas
RUF	Ranking Universitário Folha

## LISTA DE SÍMBOLOS

$e^-$	Elétron
$e^+$	Pósitron
$p$	Próton
$\bar{p}$	Antipróton
$n$	Nêutron
$\bar{n}$	Antinêutron
$\beta$	Letra grega beta
$\gamma$	Letra grega gama

# SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b> . . . . .	<b>16</b>
<b>2</b>	<b>REFERENCIAL TEÓRICO</b> . . . . .	<b>19</b>
<b>2.1</b>	<b>Livro Didático</b> . . . . .	<b>19</b>
<b>2.2</b>	<b>A construção curricular do ensino brasileiro</b> . . . . .	<b>21</b>
2.2.1	BNCC: Implementação e áreas de conhecimento . . . . .	23
<b>2.3</b>	<b>As partículas e o aprendizado no Ensino Médio</b> . . . . .	<b>25</b>
<b>3</b>	<b>METODOLOGIA</b> . . . . .	<b>27</b>
<b>4</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÕES</b> . . . . .	<b>29</b>
<b>4.1</b>	<b>Análise de Livros</b> . . . . .	<b>29</b>
4.1.1	Contextualização . . . . .	30
4.1.2	Produção e Aniquilação de Pares . . . . .	31
4.1.3	Aplicações/Previsões . . . . .	31
4.1.4	Descrição dos livros . . . . .	32
<b>4.2</b>	<b>Conexão curricular entre BNCC, livros didáticos, vestibulares e ficção científica</b> . . . . .	<b>36</b>
<b>5</b>	<b>MATERIAL DE APOIO</b> . . . . .	<b>39</b>
<b>5.1</b>	<b>Constituição da matéria</b> . . . . .	<b>39</b>
<b>5.2</b>	<b>Partículas e Antipartículas</b> . . . . .	<b>40</b>
<b>5.3</b>	<b>Produção e Aniquilação de Pares</b> . . . . .	<b>43</b>
<b>5.4</b>	<b>Antipartículas: Como nos afetam?</b> . . . . .	<b>45</b>
5.4.1	Tomografia Computadorizada por Emissão de Pósitrons . . . . .	45
5.4.2	Geração de Energia . . . . .	47
<b>6</b>	<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS</b> . . . . .	<b>49</b>
	<b>REFERÊNCIAS</b> . . . . .	<b>50</b>

# 1 INTRODUÇÃO

Quando crianças somos postos diante de mundos encantados, fictícios e ilusórios, onde a mágica corresponde a realização de todas as coisas e tudo se torna possível. Ao crescer e compreender o mundo real, grande parte do encanto se perde dando espaço aquilo que é possível dentro dos nossos limites enquanto humanos. Mas afinal de contas, o que isso tem haver com Física? Começamos por sua definição, Física é o estudo da natureza e tudo o que a compõe, das coisas visíveis e invisíveis, microscópicas e macroscópicas, tocáveis e intocáveis. Buscando compreender desde os motivos pelos quais o universo se formou e como se formou aos que nos permitem ir de uma posição a outra ao tocar os pés no chão, essa ciência é descrita pela própria natureza. Ao falar sobre gravidade, o físico e professor [Oliveira \(2010\)](#) afirma que “Se a gravidade tivesse uma intensidade um pouco maior, o universo não teria se expandido e logo entraria em colapso. [...] Por outro lado, se a força da gravidade fosse mais fraca, as galáxias, estrelas e planetas também não se formariam e o universo seria escuro e, com certeza, sem vida.”, essa descrição nos dá uma breve noção de que tudo na natureza é tão perfeitamente calculado que nos remete a uma mágica real, não no sentido sobrenatural, mas sim daquilo que é fascinante, encantador e um tanto misterioso, reafirmando que “Física é a porta de acesso a essas coisas mágicas” ([HALLIDAY; RESNICK; WALKER, 2012](#), p. 384).

Dentre os mistérios os quais a Física busca encontrar a solução, compreende-se a formação do universo, da matéria e suas interações. Voltando-nos para a teoria mais aceita pela comunidade científica sobre a formação do universo, o Big Bang, os cientistas se depararam com um fator um tanto quanto intrigante, a assimetria entre matéria e antimatéria. Mas primeiramente, regressamos para o conceito de antimatéria e a forma como afetou a ciência. No início do século XX, a Física passava por um desdobramento para a explicação de certos fenômenos, tudo aquilo que já se conhecia e que se acreditava ser o suficiente dava ideia de que nada mais havia para ser descoberto, no entanto, a Física Clássica, como é conhecida, já não podia explicar a estabilidade da matéria ou certos comportamentos da luz. Foi então que a introdução do quantum de ação por Max Planck, seguido do experimento de Michelson-Morley, constatando a não existência do éter, o efeito fotoelétrico mostrando a natureza corpuscular da luz por Albert Einstein e a descoberta do pósitron por Paul Dirac e Carl Anderson, construíram o que conhecemos como Física Moderna e Contemporânea ([CARUSO, 2005](#)). A Física vista sob um novo olhar, mas que não invalidasse a primeira, mostrava que a natureza pode ser um tanto peculiar.

Destacamos então a suposição teórica e matematicamente elegante de Dirac sobre a existência da antipartícula do elétron e posteriormente a descoberta experimental por Anderson, denominando-a pósitron e dando início a área da Física de Partículas Elementares, responsável por investigar as partículas e suas interações, que se tornou uma das maiores áreas de pesquisa atualmente, juntamente com Cosmologia e Genoma Humano. Essa descoberta ocasionou uma nova conceituação de partícula elementar, que deixou de ser entendida como indestrutível e imutável, bem como na constituição da matéria e o surgimento do conceito de antimatéria ([OSTERMANN, 2001](#); [SIQUEIRA, 2006](#)). Ao decorrer da evolução científica foram descobertas inúmeras outras partículas e antipartículas, levando a constatação que toda partícula possui um par oposto correspondente, e que, da mesma forma que a matéria é constituída de partículas, um conjunto de antipartículas constitui o que chamamos de antimatéria ([HALLIDAY; RESNICK; WALKER, 2012](#)).

A grande questão é que matéria e antimatéria se destroem ao se encontrarem, dando



lugar a fótons, e a recíproca é válida. Por esse motivo, a assimetria durante o Big Bang parece não ter muito sentido, de acordo com a teoria, matéria e antimatéria existiriam em igual quantidade, mas por uma razão ainda em investigação a matéria prevaleceu. Enquanto esses estudos se sucedem, outras aplicações podem ser apresentadas: o uso das antipartículas na medicina e possível futura utilização como fonte de energia e combustível (CARUSO, 2005; SATO, 2018; MACHADO A. C. B.; PLEITEZ; TIJERO, 2007).

Partindo para uma perspectiva educativa, uma pesquisa realizada por Ostermann e Moreira (2001), envolvendo físicos e profissionais da educação, sobre quais tópicos da Física Moderna poderiam ser levados ao Ensino Médio, entre outros, destaca-se a Física de Partículas. Em outra pesquisa, realizada por Kalmus (1992) com calouros de um curso de Física sobre quais tópicos influenciaram sua escolha, ressaltam-se: Relatividade, Astronomia e Partículas Elementares. Para Alvarenga *et al.* (2000):

Os conhecimentos dessa área, possibilitam ao estudante um certo aprofundamento dos estudos de Cosmologia, levando-o a uma visão mais racional do mundo em que vivemos, a discussões mais equilibradas sobre a origem e o fim do Universo, colaborando para afastamento das crenças e superstições, muito comuns entre os jovens. O assunto pode ser tratado historicamente, com apresentação das diversas teorias que se sucederam, levando os alunos a perceberem que os conhecimentos científicos não são verdades absolutas (aspecto importante da visão atualizada das ciências). O sucesso das pesquisas nesta área, altamente dependentes das tecnologias avançadas, que possibilitaram várias descobertas, evidenciaram a interdependência entre o desenvolvimento dos conhecimentos científicos e tecnológicos, sem priorização de um deles. São tópicos fundamentais e sua aprendizagem facilita a compreensão, com maior profundidade, de muitos outros assuntos, tanto no campo da Física, quanto no de outras ciências (química, biologia, geologia, etc.) (ALVARENGA *et al.*, 2000, p. 191).

Sendo uma área dinâmica e em constante investigação pela constituição básica da matéria, a Física de Partículas é adequada para o entendimento de processos e validação de teorias científicas, considerando a busca por descrever um modelo científico para a compreensão da estrutura da matéria que, segundo Siqueira (2006), são dificilmente discutidos em sala de aula e nos livros didáticos. Além disso, muito jovens indagam sobre as pesquisas atuais em Física que chegam a seu conhecimento por diferentes meios de comunicação (SIQUEIRA, 2006). Dentro do âmbito educacional, é importante que a ciência contemporânea seja abordada em sala de aula e não chegue aos jovens apenas através da mídia, inclusive para evitar que essas informações sejam distorcidas. Analisando as circunstâncias, sendo notória a participação da antimatéria em diversas obras de ficção científica, como histórias em quadrinhos, filmes, livros e seriados, podendo ser abordada desde a ideia de formação do universo a previsões de uso por tecnologias inovadoras e sendo o marco inicial da Física de Partículas, percebe-se Partículas e Antipartículas como um tema de potencial atrativo para introdução da área no ensino.

Partindo da análise do tema no currículo comum que rege o ensino nacional e na perspectiva de que o Livro Didático é um dos materiais fundamentais utilizados por professores e alunos na construção do aprendizado, sendo as obras recomendadas e distribuídas para a Educação Básica Pública pelo Programa Nacional do Livro e do Material Didático (PNLD) pelo Governo Federal, foi realizada uma pesquisa bibliográfica sobre a abordagem da problemática nestes materiais (XAVIER; TOLEDO; CARDOSO, 2020).

Sobre a intenção de traçar um melhor parâmetro da abordagem dos Livros Didáticos utilizados nas escolas públicas, o levantamento foi feito a partir dos doze livros recomendados pelo Guia do PNL D 2018, visto que o que corresponde ao ano de 2021, combinado a reforma educacional, ainda está em processo. Nos livros foram analisados três principais fatores, que são a abordagem de partículas e antipartículas, dos processos de produção e aniquilação de pares e das aplicações tecnológicas, sob as quais enfatizamos o uso na medicina e previsões futuras para geração de energia e uso de combustível. Em busca de compreender a disposição do tema referido nos livros, foi realizada uma análise dos conteúdos de Física abordados no Exame Nacional do Ensino Médio (ENEM) e no vestibular da Universidade de Campinas (UNICAMP)<sup>1</sup>, podendo estabelecer uma conexão dos conteúdos introduzidos nos Livros Didáticos com relação a BNCC e aos vestibulares. Por fim, devido aos resultados obtidos na análise, foi elaborado um material de apoio na intenção de promover um estudo introdutório à Física de Partículas através de Partículas e Antipartículas, proporcionando uma leitura dinâmica a partir da construção da descoberta científica dessas pequenas partes invisíveis e misteriosas, que evoluíram desde a ponta de um lápis sobre o papel à contribuição para com a saúde humana, através de um dos melhores exames diagnósticos da medicina atual.

---

<sup>1</sup> Além de ser uma instituição renomada, os vestibulares da UNICAMP foram utilizados por conta da facilidade maior de acesso as provas da 1<sup>a</sup> e 2<sup>a</sup> fase.

## 2 REFERENCIAL TEÓRICO

Este capítulo cabe ao entendimento da importância dos Livros Didáticos e do Programa Nacional do Livro e do Material Didático (PNLD) na educação brasileira, posteriormente será discutida a progressão histórica curricular no Brasil e a sua estrutura atual, a Base Nacional Comum Curricular (BNCC), na qual os conteúdos dos livros se estruturam, e por fim, o enquadramento da Física de Partículas, especificamente a inserção de Partículas e Antipartículas e suas aplicações no ensino, de modo a contribuir para o entendimento da evolução científica e tecnológica e na construção intelectual do estudante.

### 2.1 Livro Didático

Na história humana mundial, a linguagem pode ser dividida em três grupos: simbólica, oral e escrita. A simbólica, vista como universal, a primeira de todas as linguagens, é a transmissão de informação através de movimentos corporais. Com o desenvolvimento humano, a linguagem oral passou a ser a única forma de transmissão e preservação (memorial) de todo tipo de conhecimento. E finalmente alcançamos a linguagem escrita, que data os primeiros registros por volta de 3500 a.C., apesar de não se saber com exatidão o início do seu uso, a Mesopotâmia é considerada o berço do livro. No século XVI a.C., era tido como sábio quem adquirisse conhecimento a partir dos livros e os utilizasse na preparação das gerações futuras (MANTOVANI, 2009). Destaque-se, por exemplo, o desenvolvimento acerca dos estudos astronômicos e da mecânica que se deram na Grécia Antiga, grande parte proveniente dos registros escritos de estudos realizados em civilizações anteriores, onde é possível citar o fundamento das ideias em torno do heliocentrismo e a Teoria Atomista, e resultaram na grande biblioteca de Alexandria, que chegou a conter meio milhão de obras. É relevante destacar também que os Hebreus contribuíram para técnicas de navegação atual através de seus escritos, e assim segue a construção do conhecimento científico nas diversas áreas (FRANCO, 2002; UFF, 2012). Ressalta-se, portanto, a grandiosidade dos livros visto que são fontes de informação, conhecimento e história as quais podem ser escritas, lidas e, por consequência, estudadas em qualquer âmbito temporal, desde que sejam conservados.

Se procurarmos o significado de *livro* no dicionário obtemos uma caracterização daquilo que é composto de conteúdo literário, artístico, científico e etc., bem como a capacidade de divulgar conhecimento e instruir. Para o significado de *didático* destacam-se três relevantes: “próprio para ensinar ou instruir; que favorece ou possibilita a aprendizagem; que resulta em aquisição de informação ou conhecimento, assim como de prazer e divertimento” (MICHAELIS, 2015). Desta forma, entende-se que um livro didático é o material capaz de auxiliar o desenvolvimento cognitivo e intelectual do leitor, através de informações e conhecimentos dispostos numa ferramenta de linguagem facilitadora, satisfatória e agradável. Num âmbito educativo, este material se associa ao meio de aprendizagem do estudante e auxílio da prática pedagógica para o professor, a partir do estudo de textos, variedade de conteúdo e atividades (XAVIER; TOLEDO; CARDOSO, 2020).

A fim de viabilizar e aprimorar o ensino público, foi instituído em 1985 pelo governo federal o Programa Nacional do Livro Didático, onde o estado se compromete à distribuição gratuita de livro didático para a Educação Básica. Alterado pelo Decreto nº 9.099, de 18 de julho de 2017, para Programa Nacional do Livro e do Material Didático (PNLD),

o programa passa a incluir, além dos livros, outras obras pedagógicas como softwares e jogos educacionais, neste trabalho vamos nos limitar aos livros. As obras são escolhidas pelos professores e pela rede pedagógica da escola em questão e para auxiliar as escolhas é disponibilizado um Guia de Livros Didáticos do PNLD, onde os livros recomendados são avaliados por professores universitários e da educação básica, apresentando resenhas dos mesmos (BRASIL, 1985; BRASIL, 2017; FNDE, 2017). Ressalta-se que o último Guia do PNLD disponibilizado no site do Fundo Nacional de Desenvolvimento da Educação (FNDE) para o ensino médio foi o Guia do PNLD 2018, até o presente momento, a escolha do PNLD 2021 está em andamento e portanto, o Guia não está disponibilizado pelo FNDE. No mais, é válido salientar que o inciso VI do Art. 2º do Decreto nº 9.099/2017, que dispõe dos objetivos do PNLD, consta o apoio à implementação da BNCC (FNDE, 2021; BRASIL, 2017).

Além do mais, os dados do Censo Escolar 2020 mostram que, das quase 47,3 milhões de matrículas na Educação Básica, mais de 38,5 milhões correspondem à rede pública. Sendo do total de matrículas, 48,4% pertencentes aos municípios, 32,1% ao estado, 0,9% à rede federal e 18,6% à privada (INEP, 2020). Os dados podem ser conferidos na Figura 2.1 e Figura 2.2.

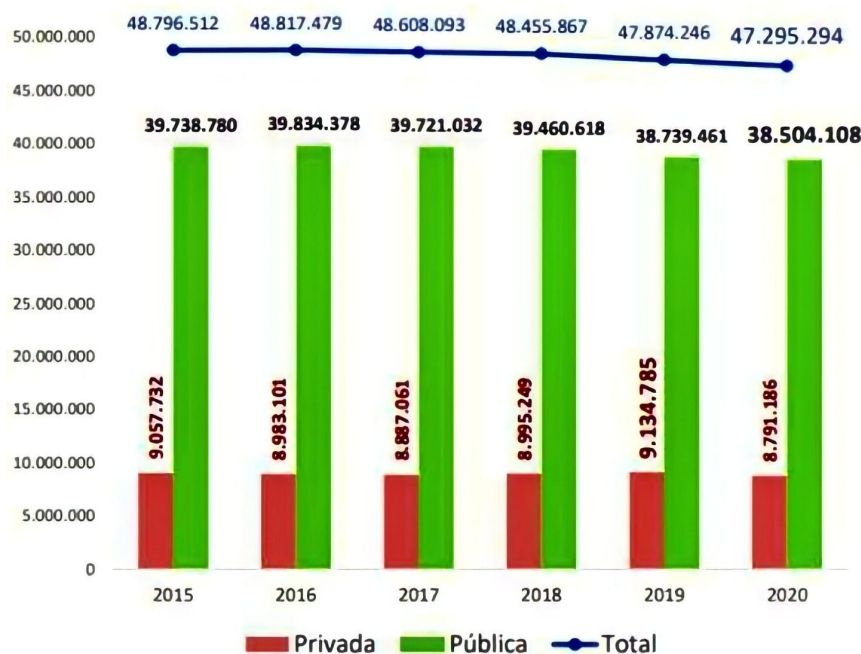


Figura 2.1 – Os dados do Censo Escolar mostram que em 2020, do total das 47,3 milhões de matrículas realizadas na Educação Básica brasileira, 38,5 milhões foram realizadas na rede pública. Fonte: INEP (2020)

Reconhecendo o baixo investimento na educação pública brasileira e as diferentes condições socioeconômicas da população, o Livro Didático se torna uma das maiores fontes de acesso ao conhecimento dos estudantes da rede pública, representando um dos mais importantes instrumentos de justiça social através do PNLD, uma vez que a maior parte dos estudantes brasileiros da Educação Básica estão inclusos na rede pública de ensino. O que demonstra também que este material deve ser elaborado de forma a proporcionar o acesso ao conhecimento ancestral e moderno, promovendo o crescimento intelectual e inclusão na realidade científica e tecnológica do mundo no qual o indivíduo está inserido e

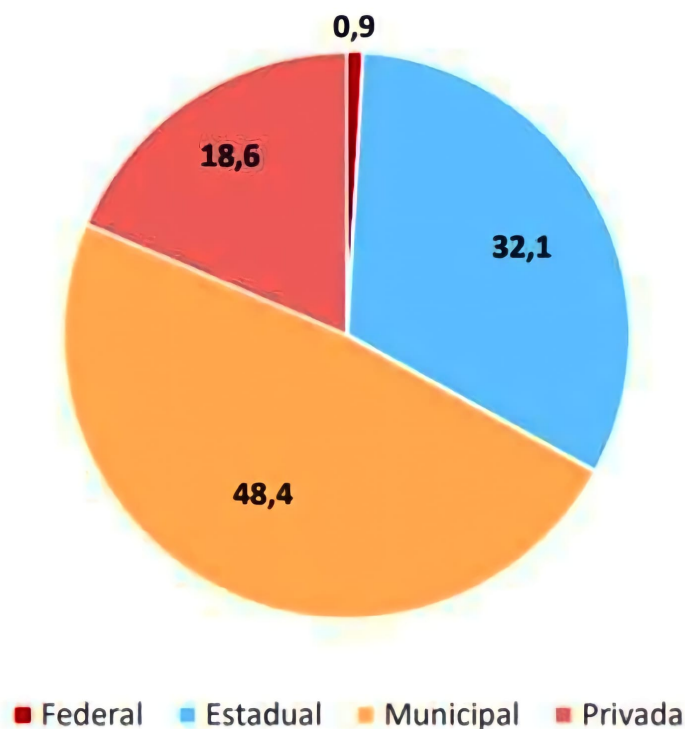


Figura 2.2 – A distribuição percentual de matrículas mostra que, do total de alunos matriculados na Educação Básica, 81,4% estudam na rede pública de ensino. Fonte: INEP (2020)

através dele criar consciência de seu próprio aprendizado. Compreendida a importância do Livro Didático, partiremos agora a que se baseiam a formulação dos conteúdos abordados neste material.

## 2.2 A construção curricular do ensino brasileiro

Para que se possa definir as temáticas abordadas nos livros, que serão utilizados por professores e estudantes, é de indiscutível necessidade que estes estejam em acordo com aspectos tratados em sala de aula. Estes aspectos, disciplinas e respectivos conteúdos, são definidos por um currículo de ensino que estabelece os conhecimentos mais relevantes que devem ser adquiridos no período escolar. A escola representa um pilar fundamental na vida de todo indivíduo, pois, além do ensino propriamente dito, trata-se do primeiro contato humano em uma vivência social e em aprendizagem como forma de conhecimento científico, tecnológico e de informação. Para que os conhecimentos transmitidos tenham verdadeira relevância, os mesmos precisam ser nivelados à capacidade de compreensão e à realidade do mundo atual. Por esta razão, ergue-se a necessidade de uma educação básica que se baseia em um currículo de ensino, por sua vez, apoiado no aprimoramento atualizado do conhecimento.

A história da educação no Brasil teve início por volta de 1550, marcada pela vinda dos jesuítas ao país no intuito de educar e evangelizar. O método de ensino jesuíta foi desestruturado em 1759 pela Reforma Pombalina, dando início ao que se considera o segundo período da história da educação no Brasil, marcado pela expulsão dos jesuítas e instituição de uma educação baseada em interesses civis e políticos de Portugal (ROSA; ROSA, 2012). A educação básica no período Imperial foi marcada por debates e denúncias

de falhas educacionais pela falta de mestres. Um projeto constitucional de 1823 articulava um sistema de ensino nacional, que iria da educação primária às universidades, retomando uma ideia já defendida por José Bonifácio e baseada na Constituição Francesa de 1791, no entanto, foi anulado no mesmo ano pelo golpe de 12 de novembro. No ano seguinte, a efetivação da Constituição continha a educação como direito do cidadão e dever do estado, estabelecendo educação primária gratuita para todos e a oferta do ensino de ciências, belas-letas e artes em colégios e universidades. A gratuidade do ensino e os primeiros moldes de um currículo escolar foram efetivados pela Lei de 15 de outubro de 1827, onde os currículos eram dispostos diferentemente para a escola de meninos e para a de meninas (PERES, 2010).

Prometida pelo governo a todos os cidadãos, a escola elementar teria este currículo: escrever, ler e contar (quatro operações, decimais e proporções), geometria prática, gramática da língua nacional, moral e doutrina da religião católica. Como livros de leitura teriam preferência a Constituição do Império e a História do Brasil. Nas escolas para meninas, haveria uma variante curricular: quanto à aritmética nada mais que as quatro operações; nenhuma geometria e, em vez disso, as prendas que servem à economia doméstica. (PERES, 2010, p. 6)

Mais tarde, devido ao Ato Adicional de 1834 e a criação do Colégio de Pedro II como modelo padrão de ensino secundarista, os conteúdos educacionais foram reformulados, compostos, além dos estudos literários e matemáticos, de geografia, história e ciências naturais, onde se identifica o ensino de física. Encerrando este período, com a proclamação da República, a educação passou de fato a compor um papel de destaque na política vigente. As ciências fundamentais (Matemática, Astronomia, Física, Química, Biologia e Sociologia) foram incluídas na educação básica e preocupações como, por exemplo, a estrutura física da escola e materiais didáticos para o ensino-aprendizagem passaram a ser discutidas. Em 1934 foi criado o Ministério da Educação e Saúde a fim de organizar a nível nacional o sistema de educação, visando o estabelecimento de currículos, horários e dias letivos (ROSA; ROSA, 2012; SILVA; SOUZA, 2011).

Na década de 1940 foram estabelecidas as Leis Orgânicas do Ensino, que dispunham das disciplinas obrigatórias nos níveis de ensino. A intensificação do processo de industrialização tardia no Brasil, devida à Segunda Guerra Mundial, expandiu e incentivou o ensino de Ciências, e em particular de Física, nas escolas do nível fundamental ao médio. Sendo também um reflexo do desenvolvimento científico tecnológico dos Estados Unidos, a corrida para a modernidade baseava seu sucesso na educação, especialmente nas Ciências. Para tanto, o país foi acometido por mais uma reforma educacional, instituiu-se em 1961 a Lei de Diretrizes e Bases da Educação Nacional (LDB) em vista de regularizar e organizar a educação brasileira e teve como característica inovadora a divisão das disciplinas em obrigatórias e optativas (ROSA; ROSA, 2005; MELLO, 2014).

Para atingir o nível de desenvolvimento das grandes potências ocidentais, a educação foi considerada como alavanca do progresso. Não bastava olhar a educação como um todo, era preciso dar especial atenção ao aprendizado de Ciências. O conhecimento científico do mundo ocidental foi colocado em cheque e ao mesmo tempo, foi tido como mola mestra do desenvolvimento, pois era capaz de achar os caminhos corretos para lá chegar e também de sanar os possíveis enganos cometidos (GOUVEIA *et al.*, 1992, p. 72).



A LDB passou por algumas modificações ao decorrer dos anos e discussões sobre a elaboração do currículo de ensino para a educação básica no Brasil foram estabelecidas pela Constituição Federal de 1988 e pela LDB nº 9.394/96, este período estabeleceu a maior reforma política educacional no país no que se refere ao sistema de ensino. Destaca-se a criação dos Parâmetros Curriculares Nacionais (PCN) como base organizacional dos componentes curriculares, consituindo, portanto, um referencial concreto para o ensino fundamental e médio no Brasil.

O Plano Decenal de Educação, em consonância com o que estabelece a Constituição de 1988, afirma a necessidade e a obrigação de o Estado elaborar parâmetros claros no campo curricular capazes de orientar as ações educativas do ensino obrigatório, de forma a adequá-lo aos ideais democráticos e à busca da melhoria da qualidade do ensino nas escolas brasileiras. [...] A nova Lei de Diretrizes e Bases da Educação Nacional (Lei Federal n. 9.394), aprovada em 20 de dezembro de 1996, consolida e amplia o dever do poder público para com a educação em geral e em particular para com o ensino fundamental. [...] Essa LDB reforça a necessidade de se propiciar a todos a formação básica comum, o que pressupõe a formulação de um conjunto de diretrizes capaz de nortear os currículos e seus conteúdos mínimos, incumbência que, nos termos do art. 9º, inciso IV, é remetida para a União (BRASIL, 1997, p. 14).

A Constituição de 1988, a LDB nº 9.394/96 e o Plano Nacional de Educação (PNE), regulamentado em 2014, preveem a regência do ensino fundamentada na Base Nacional Comum Curricular (BNCC), que é portanto uma exigência constitucional responsável por definir os conteúdos essenciais na aprendizagem de todo estudante brasileiro. Em 2015, a 1ª versão da BNCC foi disponibilizada, tendo por objetivo servir de material de apoio para todas as unidades escolares. A 2ª versão, em 2016, trata de estabelecer objetivos educativos relacionados à aprendizagem e desenvolvimento (NEIRA; JÚNIOR; ALMEIDA, 2016). Ambas as versões foram discutidas por meio de mobilização das escolas e de Seminários Estaduais com professores, o que possibilitou a participação do cidadão e de instituições educacionais a fim de expressarem sugestões de modificações ao documento. Com a versão final entregue ao Conselho Nacional de Educação (CNE), a BNCC foi homologada em 20 de dezembro 2017 e dois dias após, a Resolução CNE/CP nº 2 instituiu e orientou a implementação de carácter obrigatório na educação básica infantil e fundamental e em 2018, foi homologada também para o Ensino Médio. Portanto, efetuou-se a primeira reforma educacional do século XXI, revogando em totalidade os PCNs em vista da BNCC (BRASIL, 2018; BRASIL, 2017).

As principais diferenças apontadas entre os dois documentos, PCN e BNCC, se devem ao carácter flexível do primeiro, promovendo um diálogo cultural e geográfico, e o carácter normativo e impositivo do segundo, priorizando uma equivalência no ensino nas diferentes regiões do Brasil (GANDRA; DERING, 2019). Outra alternância é destacada por Lima, Gomes e Lima (2020) em respeito à forma de elaboração dos documentos, enquanto o PCN foi elaborado de modo centralizado, restrito a poucos especialistas, a BNCC passou por um processo mais democrático, pautado em discussões abertas, elevando a qualidade educacional a nível social.

### 2.2.1 BNCC: Implementação e áreas de conhecimento

O Ministério da Educação (MEC) instituiu o Programa de Apoio à Implementação da Base Nacional Comum Curricular (ProBNCC), que envolve diversas entidades nacionais

de ensino, em vista de apoiar as Secretarias Estaduais e Distrital de Educação (Seduc) e as Secretarias Municipais de Educação (SME) durante o processo de transição curricular do PCN para a BNCC e implementação dos novos currículos, que passou a ter validade para o ensino médio em 2019 (BRASIL, 2019). Dado o período de adaptação ao novo sistema, a implementação total obrigatória é dada em acordo com o cronograma publicado no Diário Oficial da União, portaria nº 521, de 13 de julho de 2021, em que consta a implementação efetiva a partir de 2022.

Art. 4º A implementação nos estabelecimentos de ensino que ofertam o ensino médio dos novos currículos, alinhados à BNCC e aos itinerários formativos, obedecerá ao seguinte cronograma:

I - No ano de 2020: elaboração dos referenciais curriculares dos estados e do Distrito Federal, contemplando a BNCC e os itinerários formativos;

II - No ano de 2021: aprovação e homologação dos referenciais curriculares pelos respectivos Conselhos de Educação e formações continuadas destinadas aos profissionais da educação;

III - No ano de 2022: implementação dos referenciais curriculares no 1º ano do ensino médio;

IV - No ano de 2023: implementação dos referenciais curriculares nos 1º e 2º anos do ensino médio;

V - No ano de 2024 - implementação dos referenciais curriculares em todos os anos do ensino médio; e

VI - Nos anos de 2022 a 2024 - monitoramento da implementação dos referenciais curriculares e da formação continuada aos profissionais da educação (BRASIL, 2021).

A BNCC se divide, antes de tudo, em competências gerais, que englobam o que todas as disciplinas precisam desenvolver, como os conhecimentos que foram historicamente construídos, compreensão das tecnologias, argumentação com base em fatos e informações confiáveis, entre outros. Posteriormente, encaixam-se as áreas de conhecimento que, relativas à etapa do Ensino Médio, estão dispostas em: **Linguagens e suas Tecnologias** (Arte, Educação Física, Língua Inglesa e Língua Portuguesa); **Matemática e suas Tecnologias**; **Ciências da Natureza e suas Tecnologias** (Biologia, Física e Química); e **Ciências Humanas e Sociais Aplicadas** (História, Geografia, Sociologia e Filosofia)<sup>1</sup>.

Definidas as áreas, em cada uma delas são estabelecidos os conhecimentos conceituais, que sistematizam a transversalidade dos temas abordados, as competências específicas, no que se refere à garantia de desenvolvimento do estudante e, relacionadas a essas últimas, encaixam-se as habilidades que devem ser alcançadas durante a etapa (BRASIL, 2018). A nova regência dos currículos do ensino brasileiro é composta, tendenciosamente, de duas características as quais enfatizamos: a transdisciplinaridade dos conteúdos, que nos remonta, uma parte pequena, à ciência unificada da antiguidade, e a forte associação das tecnologias às áreas de conhecimento, de modo a assimilar o mundo contemporâneo ao aprendizado escolar. A priori, neste trabalho nos cabe as Ciências da Natureza e suas Tecnologias, com ênfase em Física e o enquadramento do estudo de Física de Partículas no Ensino Médio.

<sup>1</sup> Vale destacar que entre as áreas de conhecimento do Ensino Fundamental se faz presente também as Ciências da Natureza, o que engloba a Física neste nível de ensino, no entanto, devido à complexidade do tema envolvido neste trabalho, nos restringiremos à etapa do Ensino Médio.



## 2.3 As partículas e o aprendizado no Ensino Médio

As novas imposições curriculares pautam a contextualização do aprendizado entre as aulas e aplicações cotidianas e tecnológicas, em que além de compreender os conceitos se faz relevante entender como eles estão presentes no mundo. Nos conhecimentos conceituais das Ciências da Natureza e suas Tecnologias, a BNCC propõe a abordagem de leis, modelos e teorias que constituem fenômenos naturais e sistemas tecnológicos em diferentes âmbitos, de modo que se fundamente o fazer científico e o reconhecimento de Ciência pelo estudante. Dessa forma, institui o aprofundamento das temáticas **Matéria e Energia** e **Vida, Terra e Cosmos** de modo que o estudante possa estruturar seu conhecimento a partir da interpretação e discussão de temáticas que envolvam aspectos individuais, sociais e ambientais, reconhecendo as potencialidades e os limites científicos (BRASIL, 2018).

Os conhecimentos conceituais associados a essas temáticas constituem uma base que permite aos estudantes investigar, analisar e discutir situações-problema que emergem de diferentes contextos socioculturais, além de compreender e interpretar leis, teorias e modelos, aplicando-os na resolução de problemas individuais, sociais e ambientais. Dessa forma, os estudantes podem reelaborar seus próprios saberes relativos a essas temáticas, bem como reconhecer as potencialidades e limitações das Ciências da Natureza e suas Tecnologias (BRASIL, 2018).

Em ambas as temáticas é possível relacionar a Física de Partículas e as relações entre partículas e antipartículas. Em **Matéria e Energia**, juntamente com as competências específicas, o estudo das partículas em geral corresponde ao conceito fundamental da constituição da matéria, bem como as interações entre matéria e energia. Destacando a abordagem do constituinte elementar e da definição da matéria e suas formas, e os processos de produção de pares, correspondente a materialização de energia radiante e aniquilação de pares, onde a matéria dá lugar a energia radiante.

Em **Matéria e Energia**, no Ensino Médio, diversificam-se as situações-problema, referidas nas competências específicas e nas habilidades, incluindo-se aquelas que permitem a **aplicação de modelos com maior nível de abstração e que buscam explicar, analisar e prever os efeitos das interações e relações entre matéria e energia** (BRASIL, 2018, grifo nosso).

Em **Vida, Terra e Cosmos** e suas competências específicas, as partículas estão contidas no que diz respeito à formação da matéria e da vida compreendidas no processo de transformação, evolução e composição do universo, considerando uma abordagem ao Big Bang e a assimetria entre matéria e antimatéria, necessária ao estabelecimento da vida, bem como a constituição dos corpos.

Em **Vida, Terra e Cosmos**, resultado da articulação das unidades temáticas **Vida e Evolução** e **Terra e Universo** desenvolvidas no Ensino Fundamental, propõe-se que os estudantes analisem a complexidade dos processos relativos à origem e evolução da Vida (em particular dos seres humanos), do planeta, das estrelas e do Cosmos, bem como a dinâmica das suas interações, e a diversidade dos seres vivos e sua relação com o ambiente. Isso implica, por exemplo, considerar modelos mais abrangentes ao explorar algumas aplicações das reações nucleares, a fim de explicar processos estelares, datações geológicas e **a formação da matéria e**

**da vida**, ou ainda relacionar os ciclos biogeoquímicos ao metabolismo dos seres vivos, ao efeito estufa e às mudanças climáticas (BRASIL, 2018, **grifo nosso**).

Dentre as habilidades se destacam ainda mais suas implicações no que corresponde a analisar processos de transformações e conservação da quantidade de matéria, energia e movimento e a discussão de modelos, teorias e leis sobre a evolução do universo. Além dos conhecimentos conceituais, a BNCC também envolve o aprendizado baseado na contextualização social, histórica e cultural da ciência e da tecnologia, com base em empreendimentos humanos e sociais, abrangendo o papel da Ciência no desenvolvimento social, ambiental, cultural e da saúde humana. Nesse contexto, as competências específicas englobam também a investigação e avaliação do conhecimento científico e suas implicações no mundo, como por exemplo as tecnologias que envolvem a geração de energia elétrica e o uso de combustíveis (BRASIL, 2018). Da discussão que se segue, em respeito as Partículas e Antipartículas e suas interações, é possível associá-las ao mundo contemporâneo tanto para efeitos de tecnologia e saúde, que relaciona o desenvolvimento de equipamentos medicinais para fins de diagnóstico, quanto o uso de combustível associado à liberação de energia nos processos de produção e aniquilação de pares. Além do mais, mediante a transversalidade proposta pela BNCC, em particular a aplicação na medicina, é possível relacionar as questões físicas, químicas e biológicas.

Por fim, o tema possui extensa propagação em obras de ficção científica, o que estabelece uma possibilidade de conexão entre o mundo fictício proposto nas obras e aquilo que é possível no mundo real, tendo em vista instigar a curiosidade do estudante com base em elementos de seu interesse. Numa pesquisa realizada recentemente por Sorensen e Teixeira (2018) no intuito de analisar se determinado grupo de estudantes do Ensino Médio possuíam interesse pela parte científica de obras de ficção científica, ou se apenas se envolviam no entretenimento, o resultado foi de que 5% dos alunos não tinham qualquer interesse pela abordagem científica, 17% tinham pouco interesse, 41% se interessavam razoavelmente e 36% possuíam muito interesse na abordagem científica. Prevalecendo, portanto, maioria absoluta por interesse, no mínimo, razoável pela Ciência envolvida (SORENSEN; TEIXEIRA, 2018). Estes resultados, alinhados a BNCC e a presença da *Antimatéria* em obras diversas de entretenimento, torna o tema de grande potencial para atração dos estudantes e abordagem em sala de aula.

### 3 METODOLOGIA

O levantamento bibliográfico consistiu na análise dos doze livros de Física recomendados pelo Programa Nacional do Livro e do Material Didático (PNLD) 2018. Partindo do carácter educativo, estabelece-se por intuito investigar como o tema Partículas e Antipartículas é abordado no principal material de apoio para professores e alunos para as aulas de Ensino Médio, especialmente os livros que correspondem ao terceiro volume das coleções, onde está inserida a parte de Física Moderna.

Para o devido fim, foram utilizados três principais critérios de observação em torno da abordagem do assunto. Primeiramente se observa a contextualização histórica do tema, ou seja, se há abordagem acerca das descobertas e de que forma foram concretizadas as conclusões da existência de antipartículas. O segundo ponto de análise está relacionado à discussão dos processos de interação entre essas partículas, que diz respeito a produção e aniquilação de pares. E por fim, analisa-se se é discutido alguma aplicação e/ou previsões de aplicações futuras.

A contextualização histórica foi avaliada em quatro níveis. Quando o livro não faz nenhuma contextualização da descoberta das antipartículas, é classificado como “Não possui”. Se a abordagem é vaga, por exemplo, sem citação aos estudos de Paul Dirac e Carl Anderson ou menção breve de apenas um dos cientistas então a contextualização é considerada “Muito superficial”. No caso em que há menção as descobertas realizadas pelos cientistas mas não é esclarecido em qual sentido esses estudos aconteceram, considera-se “Superficial”. E quando é feita toda uma contextualização explicativa, sendo mencionados os cientistas e a decorrência dos seus estudos, englobando suas causas e consequências, considera-se que a abordagem é “Detalhada”.

Em relação a produção e aniquilação de pares, são avaliados com “Não” os livros que não mencionam nenhum dos dois processos e “Sim” os que discutem ambos. Quando é pautado somente um dos dois, identifica-se por “Apenas aniquilação” ou “Apenas produção”. Referente as aplicações ou apresentação de previsões futuras tem-se por “Não” quando o livro não faz alusão a aplicações de partículas e antipartículas e, “Sim” quando discute ao menos uma utilização.

Além disso, foram analisadas as questões de física das provas do ENEM de 2011 a 2020 e as 1<sup>a</sup> e 2<sup>a</sup> fases dos vestibulares UNICAMP, com ênfase nos realizados de 2019 a 2021, tendo por finalidade uma análise comparativa dos conteúdos requeridos no exame e vestibular com os livros didáticos e os respectivos temas abordados e a conexão com os temas que compõe a Base Nacional Comum Curricular (BNCC). Assim, é delineada uma visão parcial a respeito da construção da educação brasileira acerca dos assuntos da Física Moderna e mais especificamente Partículas e Antipartículas, avaliando a conectividade da presença do tema na BNCC, nos LDs e nas provas vestibulares. Também foi observada a participação do tema em filmes, séries e histórias em quadrinhos de ficção científica, possibilitando avaliar sua presença também no lazer do ser humano, sendo por fim, evidenciada a correlação entre a BNCC, os livros didáticos, os vestibulares e obras não educativas de Partículas e Antipartículas.

Por fim, elaborou-se um material de apoio didático, primeiramente, fazendo uma breve retomada dos primeiros estudos acerca da constituição básica da matéria, seguida pelo surgimento da Física Moderna e, juntamente, a Física de Partículas, traçando uma linha temporal da descoberta da primeira antipartícula. Posteriormente foram discutidos os

processos de produção e aniquilação de pares, seguido da aplicação médica, a Tomografia por Emissão de Pósitrons e estudos para uso futuro de fonte de energia. Intencionalmente, procurou-se ao longo de todo material proporcionar uma leitura dinâmica e de fácil entendimento, em alguns momentos fazendo analogias a obras de ficção científica, discutindo desenvolvimentos da pesquisa atual acerca da antimatéria e demais curiosidades sobre o assunto, de forma que a leitura oferecesse conhecimento e divertimento.

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

### 4.1 Análise de Livros

Busca-se aqui analisar como o assunto Partícula e Antipartícula é abordado nos livros de Ensino Médio. Para isso foi realizado um levantamento bibliográfico nos doze livros de física para o ensino médio que constam no PNLD 2018. Algumas observações principais são levadas em consideração, como, obviamente, se há a abordagem de Partícula e Antipartícula, qual o aprofundamento contextual do tema, se o livro trata da produção e aniquilação de pares e se há apresentação de alguma aplicação ou previsões de aplicações da área. De modo geral, o tema é abordado com muita superficialidade nos livros. No [Quadro 1](#) estão apresentados os livros estudados que foram analisados. Informa-se por antecedência que, devido à semelhança entre alguns títulos, os livros serão referenciados por autor ao decorrer do trabalho.

Quadro 1 – Livro do PNLD 2018 analisados

Coleção	Autor(es)	Editora
Física	Guimaraes, Piqueira e Carron	Ática
Compreendendo a Física	Gaspar	Ática
Física: Contexto e Aplicações	Luz, Álvares e Guimaraes	Scipione
Física para o Ensino Médio	Yamamoto e Fuke	Saraiva
Tópicos de Física	Biscuola, Bôas e Doca	Saraiva
Física: Interação e Tecnologia	Filho e Toscano	Leya
Física Aula por Aula	Filho e Silva	FTD
Física	Bonjorno <i>et al.</i>	FTD
Física em Contextos	Pietrocola <i>et al.</i>	Editora do Brasil
Física: Ciência e Tecnologia	Torres <i>et al.</i>	Moderna
Conexões Com a Física	Martini <i>et al.</i>	Moderna

Fonte – Elaborado pelo autor

Uma observação importante é o fato de que em geral, os volumes 1 e 2 das coleções abordam conteúdos da Física Clássica, como Mecânica Newtoniana, Ondulatória, Termodinâmica, etc. Restando aos livros do terceiro volume das coleções abordar Eletricidade e Magnetismo e a Física Moderna, sendo que em todos eles a Física Moderna só é apresentada na última unidade. A maioria dos livros do volume 3 contém mais de 50% do conteúdo em torno de Eletricidade e Magnetismo, restando uma unidade para abordar toda a Física Moderna, o que inclui Relatividade, Teoria Quântica, Física Nuclear e de Partículas e Cosmologia. Ou seja, toda a ciência contemporânea é lançada a um pequeno espaço do conhecimento escolar.

A parte que contém o assunto tratado neste trabalho pertence à Física de Partículas, que na maioria das vezes é inserida dentro de outra área, e não apresentada como uma das grandes áreas de pesquisa. O que não é conveniente, visto que ela é uma das maiores áreas da pesquisa científica atualmente e contempla parte significativa da tecnologia (SIQUEIRA, 2006). Portanto o tema possui relevância ao que se refere ao conhecimento científico que deve ser apresentado em sala de aula.

Os estudos sobre Partículas e Antipartículas se mostram importantes observando que, nos próprios livros analisados, em algum momento há menção ao assunto, seja de forma explicativa direta ou associação a outros assuntos, como decaimento  $\beta^+$ <sup>1</sup> e Big Bang. Entretanto, por mais que o tema referido englobe tanto o possível início do universo quanto tecnologias recentes, nota-se certa irrelevância em sua construção nos materiais usados pelos alunos e professores, como a falta de apresentação de aplicações e presença do tema no cotidiano humano.

Dos doze livros didáticos, somente um apresenta a utilização tecnológica de antipartículas na medicina e um cita a possibilidade da utilização de energia através do processo de aniquilação de pares. No que diz respeito à contextualização do tema, é avaliado se o livro cita as descobertas de Paul Dirac e Carl Anderson, introduzindo o tema historicamente. Além disso, a maioria dos livros não mencionam os processos de produção e aniquilação de pares, alguns mencionam apenas a aniquilação e somente três livros comentam os dois processos.

O Quadro 2 apresenta os resultados obtidos do levantamento.

Quadro 2 – Resultado da análise dos livros, seguindo a abordagem de Partículas e Antipartículas

Livro	Contextualização	Produção e Aniquilação de Pares	Aplicações/Previsões
Guimaraes, Piqueira e Carron	Muito superficial	Não	Não
Gaspar	Detalhado	Sim	Sim
Válio <i>et al.</i>	Não possui	Apenas aniquilação	Não
Luz, Álvares e Guimaraes	Detalhado	Não	Não
Yamamoto e Fuke	Superficial	Apenas aniquilação	Não
Biscuola, Bôas e Docca	Não possui	Não	Não
Filho e Toscano	Muito superficial	Apenas aniquilação	Sim
Filho e Silva	Muito superficial	Não	Não
Bonjorno <i>et al.</i>	Muito superficial	Apenas aniquilação	Não
Pietrocola <i>et al.</i>	Detalhado	Sim	Não
Torres <i>et al.</i>	Detalhado	Sim	Não
Martini <i>et al.</i>	Detalhado	Não	Não

Fonte – Elaborado pelo autor

De maneira geral, observa-se que não há um consenso entre os livros sobre a forma que o tema referido neste trabalho é abordado. Existem relutâncias por parte de alguns autores em incluir de forma principal o respectivo assunto, e, claramente, há ausência da representação da utilidade e importância do tema. A seguir, são analisados e discutidos separadamente os três aspectos observados nos livros.

#### 4.1.1 Contextualização

Dos doze livros, apenas cinco introduzem o assunto com uma abordagem histórica detalhada da descoberta de antipartículas. Ou seja, a maior parte faz uma discussão

<sup>1</sup> Emissão radioativa em que um núcleo instável se transforma em outro a partir da emissão de um pósitron por um dos prótons do núcleo (HALLIDAY; RESNICK; WALKER, 2012).

vaga, sendo que dois não possuem nenhum contexto histórico. Em defesa da inserção da História e Filosofia da Ciência (HFC) nas aulas de ensino médio, o tratamento histórico é crucial para que se enxergue lógica naquilo que se estuda, além de entender que a ciência é construída em torno de discussões, teorias e refutações e os conhecimentos que hoje nos cercam provêm de séculos de evolução e descobrimentos científicos.

Ao fazer abordagem dessa evolução é palpável ao aluno compreender o que é e não é aceitável para que determinado estudo seja tido como verdade. Conhecer o caminho é essencial para a chegada e, portanto, contextualizar o estudante é necessidade do aprendizado. Ao realizar uma pesquisa através da inserção de uma proposta didática que utilizava a HFC para explicação de conceitos, [Monteiro e Martins \(2015\)](#) relatam que,

Um dos argumentos a favor da utilização didática da HFC é a possibilidade de aprendizagem de conceitos científicos a partir de uma abordagem histórico-filosófica. Consideramos que, no particular contexto da pesquisa aqui relatada, a HFC parece haver contribuído para a compreensão do conceito de inércia por parte desses sujeitos. Não houve utilização de outro tipo de abordagem (experimental, por exemplo). Esse pode ser considerado um resultado importante, na medida em que nem todos os trabalhos que defendem o uso da HFC como estratégia didática sinalizam para a possibilidade (e importância) de “aprender física” via HFC. [p.7] ([MONTEIRO; MARTINS, 2015](#)).

### 4.1.2 Produção e Aniquilação de Pares

De acordo com o quadro de resultados ([Quadro 2](#)) apenas três livros citam os dois processos: produção e aniquilação dos pares. Quatro falam apenas sobre aniquilação e cinco livros não falam sobre nenhum dos dois processos. Considerando que a produção de pares é o único meio conhecido de formação de partículas e antipartículas ([DE PAULA, 1998](#)) e a aniquilação de pares é o processo responsável por liberação de energia, que inclusive é utilizado na saúde para fins de diagnóstico ([MACHADO A. C. B.; PLEITEZ; TIJERO, 2007](#)), compreende-se que é de extrema importância que o conhecimento acerca dos mencionados processos cheguem até os estudantes.

### 4.1.3 Aplicações/Previsões

Somente dois livros descrevem algum tipo de aplicação ou previsões de utilização dos processos de partículas e antipartículas. O livro de [Gaspar](#), que descreve o uso da aniquilação de pares para realização da Tomografia Computadorizada por Emissão de Pósitrons (PET-Positron Emission Tomography) e o livro de [Filho e Toscano](#) que destaca a propabilidade de que a energia liberada no mesmo processo seja útil como combustível para espaçonaves. Surpreendentemente, há os livros que mencionam a PET relacionando-a às substâncias radioativas, mas não apontam o processo fundamental do equipamento, que é a aniquilação de pares.

Considerando que a ciência está presente no cotidiano humano, fazendo parte da evolução que nos cerca, entende-se ser fundamental levar aos estudantes as aplicações provenientes dos estudos científicos.

#### 4.1.4 Descrição dos livros

A seguir é feita uma breve descrição dos capítulos do terceiro volume das coleções de livros didáticos que estão presentes no levantamento bibliográfico realizado neste trabalho, levando em conta que é apenas neste volume que a Física Moderna e Contemporânea é apresentada, no que se refere as Partículas Elementares. A descrição se direciona ao tema principal tratado aqui, sendo assim, dá-se maior relevância a abordagem da contextualização, descrição e aplicações das Partículas e Antipartículas.

##### **Física (Guimarães, Piqueira e Carron)**

A Física Moderna e Contemporânea (FMC) é abordada na última unidade do livro do terceiro volume (Unidade 4), que está dividida em 3 capítulos. Tratando primeiramente da Mecânica Relativística e fenômenos da Física Quântica, posteriormente da Física Nuclear e por último aborda Cosmologia e Partículas Elementares. Apesar de uma contextualização histórica e apresentação das partículas elementares, o livro faz uma abordagem muito superficial acerca de partículas e antipartículas. Cita a proposta da existência das antipartículas por Paul Dirac, mas sem contextualizá-la, não explicando quais foram as circunstâncias que levaram o cientista a tal suposição e não menciona a descoberta experimental do pósitron por Carl Anderson, ou seja, não remete a comprovação científica. No mais, há uma breve referência à colisão entre um próton e antipróton realizada no acelerador Large Electron-Positron collider (LEP) em 1983, em que o livro direciona o assunto a teoria eletrofraca <sup>2</sup>, no entanto não faz referência a produção e aniquilação de pares. Tampouco há menção de alguma aplicação de antipartícula no mundo atual ou previsões futuras em qualquer âmbito.

##### **Física (Gaspar)**

Semelhante ao livro anterior, a FMC é abordada na última unidade do livro do terceiro volume (Unidade 4), dividida em 3 capítulos. Considerando a unidade mencionada, inicialmente é abordada a Mecânica Relativística, o capítulo posterior aborda Origens da Física Quântica, onde está incluída a Física Nuclear. É interessante destacar que, apesar do título, o capítulo não aborda fenômenos quânticos, como por exemplo, o efeito fotoelétrico. Por fim, o último capítulo é intitulado A Nova Física, que contém a parte de Física de Partículas Elementares. No que diz respeito as antipartículas, o livro faz uma contextualização consideravelmente detalhada, partindo da suposição de uma antipartícula do elétron por Paul Dirac e a sua descoberta por Carl Anderson através de experimentos utilizando raios cósmicos. Aborda, inclusive, o procedimento experimental realizado por Anderson.

O livro também faz breve menção à constituição da antimatéria, devido as antipartículas e discorre sobre a produção e aniquilação de pares. No mais, é apresentado um pequeno box sobre a Tomografia Computadorizada por Emissão de Pósitrons (PET) como aplicação, a abordagem é feita de maneira superficial mas compreensível de modo a agregar o conhecimento. É indispensável destacar que este é o único dos doze livros que fala sobre PET no âmbito Partícula-Antipartícula. Destaca-se que livro é composto por uma seção que se referente exclusivamente ao nêutron e ao pósitron (discutida acima) e

<sup>2</sup> O livro descreve o fenômeno em que as massas de fótons e bósons tem comportamentos distintos em baixas energias ( $< 100\text{GeV}$ ), mas não observados em altas energias ( $> 100\text{GeV}$ ), unificando as duas massas em uma única interação



outra seção referente à Física de Partículas, onde discute especialmente a classificação das partículas (Hádrons, Léptons, etc.).

### **Ser Protagonista: Física (Válio *et al.*)**

Considerando o terceiro volume da coleção, repartido em 3 unidades, a FMC é novamente apresentada na última unidade do livro, dividida em 2 capítulos: “A Física do muito pequeno” onde está contido o conteúdo de Física Quântica, Nuclear e de Partículas e “A Física do muito grande” que se relaciona a parte de Cosmologia e Relatividade. O primeiro capítulo da Unidade 3 apresenta a constituição da matéria e a classificação das partículas (Hádrons, Léptons, etc.). No entanto há uma menção mínima, quase imperceptível, em relação as antipartículas. Não há qualquer contextualização da descoberta e nem menção há produção de pares, apenas uma citação a aniquilação de pares, além de não haver referência a nenhuma aplicação. O trecho abaixo é retirado do livro, sendo o único momento em que há uma descrição de antipartículas.

Para cada partícula, existe uma antipartícula, que é uma partícula idêntica a ela em todos os aspectos, como massa e energia, mas diferente na carga (embora de mesma intensidade, a carga é oposta em sinal e diferente na interação física). A colisão entre a partícula e a respectiva antipartícula resulta na aniquilação de ambas e na liberação de energia. [p. 226] (VÁLIO *et al.*, 2016).

### **Física: Contexto e Aplicações (Luz, Álavares e Guimarães)**

A Física Moderna é abordada na última unidade do livro (Unidade 4), dividida em quatro seções, sendo três referentes à Relatividade e somente a última seção faz menção à Física Quântica, abordando principalmente: Teoria Corpo Negro, Efeito fotoelétrico e Espectro de linhas. Entre a primeira e a segunda seção há um box intitulado “Física no contexto” que faz referência a matéria e antimatéria. O box, de uma página, a princípio se trata de uma breve concepção dos estudos acerca da constituição da matéria e do universo, fazendo uma curta menção aos estudos de Galileu, Kepler, Newton e Halley, enfatiza os estudos de Einstein relacionados a relatividade e curvatura do espaço-tempo. Por fim menciona a descoberta da antimatéria fazendo alusão ao big bang, onde se acredita que haviam quantidades iguais de matéria e antimatéria. O que se faz aqui é apenas uma apresentação e não explicação dos referidos temas, tampouco o autor menciona a ideia de partículas e antipartículas como constituintes de matéria e antimatéria.

No entanto, um ponto intrigante da obra é o fato do autor, apesar de fazer uma descrição considerada detalhada dos estudos de Paul Dirac e Carl Anderson, na página 243 utiliza a denominação antimatéria para se referir ao pósitron, e não antipartícula. O que se discute aqui é se os conceitos não deveriam ser melhor apresentados aos alunos e qual dano para futuras compreensões isso poderia causar, visto que chamar de antimatéria uma antipartícula nos remete ao mesmo que se referir a uma partícula como matéria e não parte constituinte da matéria. Perde-se então o significado da constituição da matéria e partícula elementar. Além disso, emerge o questionamento da compreensão sobre a elementariedade, se o pósitron, partícula elementar, é antimatéria, quais são as (anti)partículas que compõe a (anti)matéria pósitron?. No mais, o livro não faz menção a nenhum dos processos dos pares e apesar do título “Matéria e Antimatéria”, o box faz mais referência à teoria da relatividade do que as partículas e suas composições, dessa forma, considera-se que o livro não aborda Física de Partículas.

### **Física para o Ensino Médio (Yamamoto e Fuke)**

A Física Moderna é abordada na última unidade do livro (Unidade 4), dividida em 3 capítulos. O primeiro aborda a Mecânica Relativística, o segundo Teoria Quântica e o terceiro se refere à Física Nuclear. Durante o último capítulo há uma pequena seção a respeito da descoberta do nêutron e do pósitron, mesmo mencionando os nomes Paul Dirac e Carl Anderson, seus estudos e motivos não são abordados. O livro exemplifica a aniquilação elétron-pósitron e comenta a descoberta de mais partículas e antipartículas apresentando um quadro com algumas delas. Mas, apesar de citar a aniquilação de pares, não menciona a produção de pares. Numa outra seção o autor discorre sobre o Modelo Padrão e classificação das partículas (Hádrons, Léptons, etc.). Entre as observações, um tópico que chama bastante atenção é a apresentação da PET como aplicação, mas sem mencionar a principal base de funcionamento do equipamento que é a aniquilação de elétron-pósitron por mais que este seja o único processo de pares abordado no próprio livro, há apenas uma discussão acerca das emissões radioativas devido ao uso de isótopos radioativos para realização do exame. O que faz com que, além de tudo, o aluno não compreenda a necessidade de utilizar radiofármacos para os fins diagnósticos discutidos nesta perspectiva.

### **Tópicos de Física (Biscuola, Bôas e Doca)**

Este livro não trata especificamente de Física de Partículas Elementares, tampouco aborda Partículas e Antipartículas. No mais, a FMC é abordada na penúltima unidade do livro (Unidade 4), dividida em 3 capítulos, divididos em: Noções de Física Quântica, Noções de Teoria da Relatividade e Comportamento ondulatório da matéria.

### **Física: Interação e Tecnologia (Filho e Toscano)**

O livro se divide em cinco capítulos, sendo o último referente à FMC. Este último, capítulo 5, divide-se em 4 seções, aborda temas como a Teoria da Relatividade, progredindo para os fenômenos da Física Quântica, como a radiação de corpo negro, efeito fotoelétrico e espectro atômico, e por fim discute Física Nuclear (Núcleo, radioatividade, fissão e fusão). Em uma seção há um enfoque em Antipartículas e Quarks, onde o autor comenta a descoberta do pósitron, sem mencionar Paul Dirac e Carl Anderson, e o processo de aniquilação de pares, cita também a existência do antipróton e antineutron. Menciona a formação de anti hidrogênios realizada num acelerador de partículas da Organização Europeia para a Pesquisa Nuclear (CERN)<sup>3</sup> e conceitua a antimatéria, relatando a possibilidade de que existirem “antimundos” no universo. Faz menção também aos estudos que prezam pela possibilidade de geração de combustível para espaçonaves por matéria e antimatéria. No entanto não faz referência a nenhuma utilização da aniquilação atualmente, como o exame PET. De modo geral, a parte introdutória ao tema é breve e superficial, porém o livro aborda algumas curiosidades sobre o assunto.

### **Física Aula por Aula (Filho e Silva)**

A Física Moderna é abordada na última unidade do livro (Unidade 5), dividida em 5 capítulos que abordam respectivamente: Relatividade, Teoria Quântica, Física Nuclear e Física e a evolução dos conhecimentos. O último preza as descobertas mais recentes onde

<sup>3</sup> A sigla CERN é proveniente do antigo acrônimo em francês: *Conseil Européenne pour la Recherche Nucléaire*, que traduzindo significa Conselho Europeu de Pesquisa Nuclear

inclui a Física de Partículas Elementares, abordando a estrutura da matéria, enfatiza a descoberta dos neutrinos chegando à antimatéria, neste ponto o livro faz uma conexão sobre a possível correlação dos neutrinos e a prevalência de matéria sobre antimatéria no Big Bang. E discorre muito superficialmente sobre os estudos de Dirac e Carl Anderson na descoberta do pósitron, concluindo que toda partícula possui uma antipartícula. Não menciona os processos de produção e aniquilação de pares e não apresenta aplicações ou estudos atuais que envolvam Partículas e Antipartículas.

### **Física (Bonjorno *et al.*)**

O livro dispõe de quatro unidades, sendo a FMC aborda na última, que por sua vez é dividida em três capítulos que discutem: Teoria da Relatividade, Física Quântica e Radioatividade. No primeiro capítulo, referente à Relatividade, o autor utiliza a descoberta de Carl Anderson sobre o pósitron para fazer referência a equivalência entre massa e energia, proposta por Einstein. Traz à tona a constatação de Anderson da liberação de energia a partir do encontro entre um elétron e um pósitron, onde esses desaparecem dando lugar a dois raios  $\gamma$ , ou seja, massa se transformando em energia, entretanto o autor não utiliza a denominação *aniquilação de pares* para se referir ao processo. Cabe destacar que o conteúdo não tem como ponto principal as partículas, mas a equivalência massa-energia. No mais, o livro não aborda Física de Partículas Elementares, por consequência não há nenhuma outra referência à antipartículas.

### **Física em Contextos (Pietrocola *et al.*)**

Dos doze livros analisados, este é o que desenvolve a área de Física de Partículas Elementares com mais dedicação. O livro consta de 3 unidades bem distribuídas, em Eletricidade e Magnetismo, Ondas eletromagnéticas e Radiação e Matéria. Nos interessa esta última, dividida em 3 capítulos que retratam, de modo geral, a Teoria da Relatividade, fenômenos quânticos, Física Nuclear e o último capítulo que aborda exclusivamente Partículas Elementares. O autor destaca a vastidão da área, deixando claro que o livro busca fazer uma introdução ao tema ao mesmo passo que fornece material para aprofundamento. Define-se o carácter elementar, bem como as propriedades de carga elétrica, spin, energia e quantidade de movimento e o carácter relativístico. Também apresenta a definição e utilização dos aceleradores lineares e circulares, comentando sobre os possíveis tipos de colisões realizadas, onde a partícula é acelerada em direção a um alvo fixo ou dois feixes sendo acelerados em sentidos opostos, e apresenta os dispositivos utilizados para a detecção de partículas através dos rastros, câmara de névoa e câmara de bolhas.

Aborda também as leis de conservação nas reações de partículas, desde a conservação da carga elétrica, massa-energia e quantidade de movimento. O livro dedica uma seção as antipartículas e descoberta do pósitron, onde situa os estudos de Dirac no desenvolvimento de uma equação relativística para função de onda do elétron, explicando como o cientista chegou à suposição da existência de uma antipartícula. Encaminha o contexto para a descoberta experimental do pósitron por Carl Anderson e a previsão de Feynman e Stueckelberg de que toda partícula possui uma antipartícula. Menciona a liberação de energia devido ao processo de aniquilação de pares e a produção de anti-hidrogênio. No mais, não apresenta aplicação ou estudos atuais ligados ao assunto.

### **Física: Ciência e Tecnologia (Torres *et al.*)**

O livro é dividido em 2 unidades, sendo a segunda correspondente à Física Moderna e dividida em 4 capítulos que discute respectivamente: Relatividade especial, Física Quântica, Física Nuclear e Tecnologia das comunicações. No capítulo de Física Nuclear, dá-se uma breve explicação sobre o pósitron como antipartícula do elétron, o assunto é inserido devido a apresentação da desintegração radioativa  $\beta+$ . O livro ainda utiliza a Tomografia por Emissão de Pósitrons como aplicação, baseando seu funcionamento a partir do decaimento radioativo de substâncias emissoras de pósitrons. Entretanto, assim como Yamamoto e Fuke (2016), não menciona o fator causador principal para a detecção do exame que é a aniquilação elétron-pósitron, conseqüentemente não explica por qual motivo se faz necessário o uso de um isótopo com decaimento  $\beta+$ . O livro contém uma seção sobre Matéria e Antimatéria, contextualizando primeiramente a previsão de Paul Dirac sobre a existência de um antielétron e em seguida a detecção do pósitron por Carl Anderson. Além disso menciona os processos de produção e aniquilação de pares. Todavia não é apresentada nenhuma aplicação ou previsões de estudos atuais acerca do tema.

### **Conexões com a Física (Martini *et al.*)**

O livro aborda questões da Física Moderna na última unidade do livro (Unidade 4). Ao discorrer sobre a estrutura da matéria o autor insere a ideia de antimatéria. Contextualiza o trabalho de Paul Dirac na intenção de unificar matematicamente a teoria relativística e a mecânica quântica, onde pressupõe a existência de um antielétron, o pósitron, de acordo com os resultados obtidos. Em seguida comenta a descoberta do pósitron por Carl Anderson a partir dos experimentos com raios cósmicos, mencionando brevemente a descoberta do antipróton e antineutron devido aos estudos experimentais com aceleradores. Além disso faz referência a existência de uma antipartícula para cada partícula, o que resulta na constituição da antimatéria. Todavia não são mencionados os processos de produção e aniquilação de pares, como não é apresentada nenhuma aplicação ou previsões de estudos atuais acerca do tema.

## **4.2 Conexão curricular entre BNCC, livros didáticos, vestibulares e ficção científica**

Nesta seção é tratada uma breve discussão em relação aos conteúdos de Física abordados no Exame Nacional do Ensino Médio (ENEM) e sua conexão com os LDs e BNCC. A pesquisa foi realizada nas provas dos últimos dez anos (2011-2020), o que possibilitou notar uma leve atualização da presença de conteúdos de Física Moderna nas provas, em especial no que se refere a Física Nuclear. No entanto não foi encontrada nenhuma questão cujo conteúdo fosse relacionado as Antipartículas e nem mesmo enlaçado em Física de Partículas Elementares. Pode-se perceber que os temas mais recorrentes no ENEM são: Cinemática, Energia, Hidrostática, Eletrodinâmica, Magnetismo, Ondulatória, Termodinâmica e Óptica. Apesar das questões carregarem temáticas que se encaixem no cotidiano humano, o conteúdo consta em maior parte a Física Clássica, assim como são constituídos em maior parte os livros para o Ensino Médio. Estas observações nos direcionam ao seguinte questionamento: O vestibular está moldado em torno do material didático fornecido aos colégios ou são os Livros Didáticos (LDs), dada a análise da seção anterior, que estão delineando o conteúdo principal em acordo com o vestibular?

Para Rosa e Rosa (2005), é consensual entre pesquisadores e professores que a forma com a qual a Física é apresentada nos livros é afastada do real propósito e o material acaba por enfatizar demasiadamente os vestibulares. É importante validar que o intuito neste momento é realizar uma análise comparativa entre os conteúdos presentes na BNCC, nos LDs e no ENEM. Em pensamento de que os livros estejam limitando os conteúdos conforme o exame que se faz referência, entende-se que entrar em uma sala de aula de ensino médio atualmente e acreditar que todos os indivíduos ali presentes querem e irão prestar vestibular é um pensamento ultrapassado. Defende-se a necessidade de envolver as questões provenientes dos exames nas aulas, mas não há concordância que o conteúdo deva ser programado e construído somente se baseando naqueles que são cobrados em vestibular.

Visto ainda que, adequado a BNCC, “[...] a Ciência e a Tecnologia tendem a ser encaradas não somente como ferramentas capazes de solucionar problemas, tanto os dos indivíduos como os da sociedade, mas também como uma abertura para novas visões de mundo.” (BRASIL, 2018), os conteúdos tratados durante o ensino médio devem abranger a ciência tal como anda sua evolução, envolvendo as descobertas e implicações contemporâneas. Justificando-se que o âmbito escolar engloba muito além de informação conceitual, mas está presente no desenvolvimento e inserção do indivíduo no mundo e na sociedade, o que inclui o conhecimento científico e tecnológico que permeia a vida humana.

Além do mais, deve ser levado em consideração o carácter avaliativo das provas de vestibular, o que difere do carácter educativo das aulas ministradas no ensino médio. Dessa forma, os conteúdos dos LDs devem ser estabelecidos de forma a promover o saber científico, desde sua construção e evolução até os patamares atuais, estabelecendo as descobertas e aplicações que estejam circuncidando a ciência atual.

Levando em consideração a abrangência científico-tecnológica prevista na BNCC como parte integrante dos conhecimentos que devem ser adquiridos durante o ensino médio, bem como a preocupação em relacioná-las às aplicações no mundo moderno, de acordo com as temáticas propostas: Matéria e Energia; Vida, Terra e Cosmos e Contextualização social, histórica e cultural da ciência e da tecnologia, entende-se que a inserção dos conceitos, tanto históricos quanto de aplicações tecnológicas de Partículas e Antipartículas, está pré estabelecida no Ensino Médio. Todavia, mesmo que alguns dos livros didáticos recomendados pelo Ministério da Educação possuam a temática, ainda se enxerga uma conexão dos livros maior com o ENEM do que propriamente à BNCC, onde há mais de 50% do conteúdo relacionado à Física Clássica.

Para amplificar um pouco mais a análise também foram revisados minuciosamente os vestibulares dos últimos três anos (2019-2021) da Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP), visto que a universidade está entre as mais conceituadas do país, estando presente nacionalmente no Ranking Universitário Folha (RUF) e internacionalmente no U-Multirank (MORANDIN; SILVA; VANZ, 2020). Tendo analisado as provas da 1ª fase, multiplaescolha e 2ª fase, discursiva, observa-se que a prevalência dos conteúdos é delimitada por Mecânica Clássica, Eletricidade e Ondulatória. Não foram encontradas questões relacionadas a Partículas e Antipartículas. No mais, em uma análise aleatória de resolução comentada do vestibular UNICAMP de 2015, estando disponível em um site de curso pré vestibular, são apresentadas as respostas esperadas divulgadas pela Comissão Permanente para Vestibulares (COMVEST) e comentários realizados por professores do curso. Em respeito à um questão que abordava um trabalho de Einstein sobre Movimento Browniano, na resolução da questão é apresentada logo em princípio que “A questão aborda

um tema relacionado à física moderna. É de se esperar que tal tema não seja abordado de forma aprofundada no ensino médio.” (OBJETIVO; COMVEST, 2015). Percebe-se então um reconhecimento da debilidade da Física Moderna no ensino médio.

Em contrapartida com os livros e vestibulares, nos filmes e quadrinhos de ficção científica o conjunto de antipartículas, a antimatéria, é apresentada de uma forma não tão sutil. Como dito por Hickman (2020) “A ideia de antimatéria fascinou e continua fascinando os aficcionados por ficção científica desde o surgimento desse conceito, que ocorreu em meados da década de 1930, logo depois da descoberta experimental do pósitron, a antipartícula do elétron.”. Nas histórias em quadrinhos o *Sindicato do Crime* surgiu pela primeira vez na década de 60 na revista da Liga da Justiça da América, uma equipe de vilões super poderosos vivem no Universo da Antimatéria (inverso da Terra), onde para cada super herói da Liga da Justiça<sup>4</sup>, que vive no Universo da Matéria, há um super vilão correspondente. No filme *The Giant Claw* o assunto também é abordado, o enredo possui um pássaro vilão vindo das galáxias da antimatéria para atacar a humanidade. Já o filme *Jornada das Estrelas* faz referência a antimatéria no que diz respeito a geração de energia por aniquilação como combustível para a nave Enterprise (HICKMAN, 2020; NALIATO, 2013). Há também o Canhão de Antimatéria, criado pelo Antimonitor proveniente do Universo de Antimatéria, que é utilizado para invadir e destruir a Terra, o supervilão da DC Comics aparece em diversas séries de ficção científica, como em *O Arqueiro* e *The Flash* (WOLFMAN; PÉREZ; ORDWAY, 1985; BERLANTI; KREISBERG; JOHNS, 2012; BERLANTI; KREISBERG; JOHNS, 2014). No livro *Anjos e Demônios* um padre tenta destruir o vaticano utilizando uma bomba de antimatéria (BROWN, 2004).

Entre outros filmes, séries e histórias em quadrinhos de ficção científica que abordam o tema, nota-se que além da forma tecnológica presente no mundo real, as antipartículas envolvem o lazer e a curiosidade do ser humano. O que representa uma boa oportunidade de utilizar este tema com probabilidade de existência nas imaginações dos estudantes para aproximá-los da realidade científica. Conclui-se que os conteúdos dos LDs e os vestibulares aqui analisados, apesar de possuírem qualidade naquilo que é apresentado por eles, não estejam acompanhando a realidade científico-tecnológica evolutiva das Partículas e Antipartículas. E o tema, por estar inserido numa das grandes áreas de pesquisas atuais e presente no cotidiano e nas obras de ficção científica, representa grande potencial educativo.

---

<sup>4</sup> O Sindicato do Crime ganhou nova edição chegando as bancas em março de 2021 (BERTOTTO, 2020)



## 5 MATERIAL DE APOIO

Diante da divergência observada nos três pilares educacionais avaliados aqui, planejamento (BNCC), material didático (LDs) e avaliação do produto educacional (vestibulares), no que diz respeito à Física de Partículas Elementares, mais especificamente Partículas e Antipartículas e sua contextualização histórica e tecnológica, no caso em que o órgão sistêmico do planejamento dispõe da inclusão científico-tecnológica moderna e a debilidade da presença do conteúdo nos livros educacionais, segue a construção de um material de apoio didático. Esse material se objetiva na contribuição tanto da contextualização histórica quanto das implicações das Partículas e Antipartículas, tendendo ao enriquecimento do conteúdo nas aulas de Física do Ensino Médio. Destaca-se que é interessante e válido que, anteriormente a leitura deste material, tenham sido abordados temas relacionados a Teoria Quântica, Física Nuclear e Química. Fica a critério do professor abordar o Modelo Padrão anteriormente ou após a aplicação do material, neste caso, recomenda-se mencionar que, conforme o aprofundamento dos estudos sobre a Física de Partículas, o modelo será explicado em maiores detalhes.

### 5.1 Constituição da matéria

A busca interminável pelo conhecimento da constituição mais íntima da matéria é um dos combustíveis que movem a ciência. Conhecer o que a compõe, suas características e interações permite aos cientistas se aproximarem de entender o funcionamento da maior máquina de todos os tempos, o universo. A cada descoberta, acerto e erro a ciência evolui, e com ela, nosso pequeno mundo também evolui a partir das aplicações geradas pelo conhecimento científico. Os filósofos da Grécia Antiga foram os primeiros a estudar os constituintes básicos da matéria de maneira racional, ou seja, sem envolver crenças religiosas. Após inúmeras teorias, Leucipo (500-450 a.C.) e Demócrito (470-380 a.C.) consagraram a Teoria Atomista, que propõe que a matéria seja composta por partículas indivisíveis chamadas de átomos (PINHEIRO; COSTA; MOREIRA, 2011).

No século XIX foi concebido o primeiro modelo atômico, proposto por John Dalton, e que baseado na Teoria Atomista, carregava a ideia de indivisibilidade. Até que, no final do mesmo século, através de estudos experimentais que possibilitaram testar os modelos, foi descoberta a primeira partícula, o elétron. Essa descoberta resultou na divisibilidade do átomo, o que significa que este é constituído por outras partes menores. Durante o século XX foram descobertas outras inúmeras partículas devido aos estudos de físicos teóricos e experimentais (ABDALLA, 2006).

Os cientistas, ao se depararem com centenas de partículas, buscaram classificá-las de maneira que houvesse sentido através de suas características, acomodando-as na teoria mais aceita atualmente, o Modelo Padrão. Para uma melhor compreensão e análise de suas propriedades, divide-se as partículas em três grupos: Férmions e Bósons, Hádrons e Léptons e Partículas e Antipartículas, sendo este último o de nosso interesse principal. Em resumo, no grupo dos Férmions e Bósons, as partículas são associadas pelo número quântico de spin, aquelas cujo o spin quântico é um valor semi-inteiro são chamadas **férmions** e as que possuem este valor nulo ou inteiro são chamadas **bósons**. Os Hádrons e Léptons se distinguem por interagir ou não pela força forte, que é a responsável por manter o núcleo unido e só existe dentro dele. Os **hádrons** são as partículas do núcleo que portanto estão sujeitas a este tipo de interação e os **léptons** são as partículas que

não estão presentes no núcleo, logo não são submetidas a interação forte (HALLIDAY; RESNICK; WALKER, 2012). As Partículas e Antipartículas serão discutidas com mais detalhe neste trabalho.

## 5.2 Partículas e Antipartículas

Pensar na possibilidade da existência de antimundos nos remete a uma ideia possível apenas em filmes de ficção científica. No entanto, na realidade física isso seria possível? E se sim, em quais condições o antimundo existiria? Somos levados, pelas obras de ficção, a acreditar num mundo composto de tudo aquilo que o nosso mundo possui, mas de maneira oposta. Um lugar constituído de inversos onde o bom é mau, o bonito é feio, o branco é preto e o errado se torna certo. Porém, cientificamente, o significado de antimundo a partir do que conhecemos se refere a constituição elementar da matéria e não necessariamente a características e emoções. As grandes protagonistas de toda essa trama são as antipartículas, um dos maiores fascínios e mistérios da Física de Partículas Elementares.

É necessário uma pequena regressão temporal para compreender de que forma os cientistas conseguiram chegar a essa descoberta peculiar. Entre o final do século XIX e início do século XX, o que conhecemos como Física Clássica passava por uma espécie de “crise”, o que na verdade era um grande processo evolutivo na ciência. O que se conhecia sobre a natureza física das coisas já não dava mais sentido a outros fenômenos, como o comportamento corpuscular da luz e a estrutura da matéria. Como marco inicial, a quantização da energia proposta por Max Planck em 1900 dá início à Mecânica Quântica, e neste mesmo período, em 1905, Albert Einstein propõe a conhecida Teoria da Relatividade. Anos mais tarde, em 1924, Louis de Broglie postulou, em sua tese de doutorado, a dualidade onda-partícula, ou seja, que partículas também possuíam um comprimento de onda. A descrição matemática foi dada por Schrödinger que, partindo de princípios quânticos, formulou a equação de onda para partícula. É então que chegamos ao problema principal, para explicar a estrutura da matéria eram necessárias correções relativísticas relacionadas ao movimento do elétron e por outro lado, seu movimento era descrito por uma equação quântica. Portanto, para tornar uma estrutura estável, era necessário unificar a Mecânica Quântica e a Teoria Relativística (EISBERG; RESNICK, 1979; CARUSO, 2005).

O físico Paul Dirac foi um dos que se atraiu por esse desafio e dedicou seus estudos a ele. Em seu trabalho *A Teoria Quântica da Elétron*<sup>1</sup> publicado em 1928, é formulada através de uma matemática elegante a equação quântico-relativística, que uniu as duas grandes teorias do século, conhecida como Equação de Dirac. Entretanto ainda havia uma questão a ser respondida, ao solucionar a equação considerando o elétron, Dirac chegava a duas possíveis soluções que correspondem a partículas com energias positivas e negativas. O grande problema é que partículas livres não podem ter energia negativa e, portanto, um estado nesse sentido não pode ser considerado (DIRAC, 1928; CARUSO, 2005).

Dando uma interpretação física aos resultados, Dirac supôs então que a solução para a qual a energia é positiva representa o elétron, como já se conhecia, com carga negativa, e aquela em que a energia é negativa seria, na verdade, uma partícula idêntica ao elétron exceto por um fator, sua carga elétrica é positiva. Até 1931 as partículas conhecidas eram somente o elétron, o próton e o fóton, sendo que é o próton que possui carga positiva, mas

<sup>1</sup> No original: *The Quantum Theory of the Electron*. Neste trabalho Dirac descreve a dinâmica do elétron dada sua interação com um campo eletromagnético



devido a sua massa ele não poderia ser a partícula encontrada por Dirac. Então, em seu trabalho seguinte *Singularidades Quantificadas no Campo Eletromagnético*<sup>2</sup>, entre outros pontos relevantes, propôs a existência de antipartículas, chamadas por ele de antielétron, que seria a explicação para a solução de sua equação (DIRAC, 1931; HELAYËL-NETO, 2018).

As previsões teóricas assumem um papel importante na física, mas não a constituem por si só. Como uma ciência experimental, edifica-se no que é possível ser comprovado, em outras palavras, sem que haja uma comprovação experimental, qualquer teoria é apenas uma hipótese do que pode ser verdade, mas não deve ser tomada como verdade absoluta. Por isso, devido a proposta de Dirac, os cientistas começaram a procurar experimentalmente algum vestígio de antipartículas, uma busca que durou pouco menos de um ano. Na intenção de investigar o comportamento dos raios cósmicos<sup>3</sup>, o físico Carl Anderson acaba por detectar uma partícula com propriedades peculiares. Curiosamente, apesar de ter um breve conhecimento sobre a teoria de Dirac, ele não havia lido seus artigos e, logo, não estava familiarizado com seu trabalho. Na época, Anderson se preocupava com estudos relacionados aos raios cósmicos e o funcionamento da câmara de nuvens, por ironia da natureza, o início de grandes estudos foi completamente acidental (CARUSO, 2005).

Em setembro de 1932, em seu artigo *A existência aparente de positivos facilmente desviáveis*<sup>4</sup>, Anderson apresentava ao mundo a comprovação do que foi matematicamente antecipado por Dirac, através de experimentos que envolviam raios cósmicos atravessando uma câmara de nuvem. Pelas fotografias da câmara, Anderson notou que haviam rastros que só poderiam ser deixados por partículas de carga positiva, entretanto, devido a amplitude e curvatura observadas, essas partículas não poderiam ser prótons por conta da massa consideravelmente elevada em relação aos elétrons, cerca de 1800 vezes maior (ANDERSON, 1932).

Para a interpretação desses efeitos, é necessário chamar uma partícula carregada positivamente cuja massa seja comparável à de um elétron [...] Prótons ou núcleos mais pesados, a partir das curvaturas observadas, não poderiam ter intervalos grandes como os que foram notados. A ionização específica é correspondente a um elétron da mesma curvatura, portanto, indicando uma partícula carregada positivamente comparável, em massa e magnitude de carga, a um elétron. (ANDERSON, 1932, p. 238, tradução nossa).

Em 1933, em seu trabalho *O Elétron Positivo*, Anderson torna efetiva a descoberta experimental do anti-elétron, denominando-o **pósitron**. Através da apresentação dos dados experimentais, ressalta que as duas partículas, elétron e pósitron, possuíam exatamente a mesma massa e magnitude de carga, com sinais de carga opostos. É relevante destacar que os estudos teóricos de Dirac e a detecção experimental de Anderson renderam a ambos o prêmio nobel em 1933 e 1936<sup>5</sup>, respectivamente. Justifica-se a grandiosidade da contribuição dos cientistas, evidenciando a importância que essa descoberta ocasionou nos

<sup>2</sup> No original: *Quantised Singularities in the Electromagnetic Field*

<sup>3</sup> Raios Cósmicos são compostos por partículas e núcleos que viajam pelo espaço e chegam até nós a altíssimas energias (OLIVEIRA; ROCKENBACH; PACINI, 2014)

<sup>4</sup> No original: *The Apparent Existence of Easily Deflectable Positives*

<sup>5</sup> Prêmio Nobel em Física concedido juntamente a Erwin Schrödinger e Paul Adrien Maurice Dirac pela descoberta de novas formas produtivas na teoria atômica, em 1933 e a Carl David Anderson pela descoberta do pósitron, em 1936

estudos que correspondiam a constituição elementar da matéria. A detecção do pósitron foi proveniente de estudos relacionados a interação de partículas carregadas eletricamente com a matéria, sendo a primeira partícula detectada que não fosse encontrada naturalmente no interior dos átomos, marcando o início de uma grande evolução científica (ANDERSON, 1933; CARUSO, 2005).

Além do mais, a equação de Dirac também previa a existência de antipartículas de prótons e nêutrons. E anos depois da descoberta do pósitron, devido ao desenvolvimento de aceleradores de partículas, foram detectados o antipróton e o antinêutron. Atualmente, acredita-se que para cada partícula existe uma gêmea correspondente com sinal de carga oposto. No que se refere a representação, a notação oficial de uma antipartícula é a mesma letra utilizada para representar a partícula par, acrescida de uma barra superior, ou seguida do sinal da carga elétrica, muito comum no caso do pósitron (TIPLER; LLEWELLYN, 2014). A Tabela 5.1 mostra alguns pares partícula-antipartícula, suas notações e as respectivas cargas elétricas.

Tabela 5.1 – Partículas e Antipartículas (TIPLER; LLEWELLYN, 2014)

Partícula	Notação	Carga Elétrica
Elétron	$e$ ou $e^-$	Negativa
Pósitron (Antielétron)	$\bar{e}$ ou $e^+$	Positiva
Próton	$p$	Positiva
Antipróton	$\bar{p}$	Negativa
Nêutron	$n$	Nula
Antinêutron	$\bar{n}$	Nula

Os cientistas foram então levados a repensar a constituição da matéria, o conceito de antimatéria foi inserido na história da ciência e as descobertas citadas acima contribuíram para despertar uma física que se havia acreditado estar solucionada, relacionada a investigação dos constituintes mais íntimos da matéria (ou da antimatéria), que foi chamada de Física de Partículas e se tornou uma das maiores áreas da pesquisa científica atual (CARUSO; OGURI, 2006; SIQUEIRA, 2006).

A matéria como conhecemos é composta por um conjunto de partículas, como elétrons, prótons e nêutrons. Logo, um conjunto de antipartículas constitui o que chamamos de antimatéria. Exemplificadamente, o hidrogênio, composto por um elétron e um próton, no estado de antimatéria, o anti-hidrogênio, tem sua composição dada por um pósitron e um antipróton. Os primeiros anti-hidrogênio foram produzidos em 1995 no CERN e em 2017, outra pesquisa realizada no CERN, que dessa vez contava com a participação de quatro pesquisadores brasileiros, mediu pela primeira vez a estrutura hiperfina do anti-hidrogênio, aproximando-nos da obtenção do espectro óptico deste átomo e o encontro de uma possível diferença entre a matéria e antimatéria (HALLIDAY; RESNICK; WALKER, 2012; AHMADI *et al.*, 2017). A Figura 5.1 mostra um esquema ilustrativo de hidrogênio e anti-hidrogênio.

Deve ser esclarecido que antipartículas e antimatéria são tão partículas e matéria quanto aquelas que constituem o nosso mundo. O prefixo anti é estabelecido pelo fato de que essas partes não compõem naturalmente o mundo que conhecemos, por exemplo, não há pósitrons e antiprótons na composição de um livro ou do corpo humano. As antipartículas

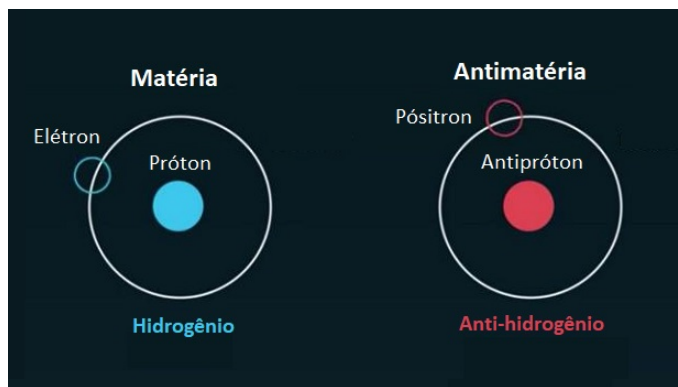


Figura 5.1 – Esquema ilustrativo do átomo de hidrogênio (matéria) composto em seu núcleo por um próton ( $p^+$ ) e um elétron ( $e^-$ ) na eletrosfera e ao lado, o átomo de anti-hidrogênio (antimatéria), composto por um antipróton ( $\bar{p}$ ) no núcleo e por um pósitron ( $\bar{e}$ ), ou antielétron, na camada positrônica. Fonte: Saber Atualizado, 2021.

chegam até nós por meio dos raios cósmicos ou são geradas em processos específicos. Nos perguntamos então por qual motivo estamos submersos num composto daquilo que chamamos de matéria, e não em seu contrário, e regressamos cerca de 15 bilhões de anos (TIPLER; LLEWELLYN, 2014; AVANCINI; MARINELLI, 2009).

O universo estava em seus primeiros instantes de vida e, por algum motivo misterioso e que intriga os físicos, foi constituída uma quantidade de matéria significativamente maior do que de antimatéria, essa é uma das maiores questões da física. E, voltando-nos para a questão inicial desta seção, se existem corpos formados por antimatéria, podem existir antimundos em alguma região do imenso universo, no entanto ainda não foram encontrados corpos com essa configuração (HALLIDAY; RESNICK; WALKER, 2012). Até o momento os cientistas continuam as investigações e a nós resta a ideia da existência de antimundos apenas em filmes de ficção científica, pelo menos por enquanto. No mais, tendo conhecido a história sobre as descobertas e compreendido os conceitos de antipartículas e antimatéria, cabe agora discutir os processos que ocorrem entre as duas formas.

### 5.3 Produção e Aniquilação de Pares

Que as antipartículas existem é fato! Mas quais são os mecanismos de produção e o que acontece quando uma partícula encontra a sua antipartícula? A resposta são os processos que serão discutidos nesta seção.

#### Produção de pares

A produção de um par partícula-antipartícula, interpretado por Blackett<sup>6</sup> e Ochialini a partir dos resultados de Carl Anderson e mais tarde produzido em laboratório por Curie e Joliot, é um fenômeno que expressa a materialização de energia radiante. Ocorre devido à colisão de um fóton ( $\gamma$ ) de alta energia com um núcleo ou através do choque entre dois fótons. O que acontece neste processo de choque entre fótons é uma perda total da energia durante a colisão e, respeitando as leis de conservação, resulta assim na criação de, por exemplo, um elétron e um pósitron (CARUSO; OGURI, 2006; EISBERG; RESNICK,

<sup>6</sup> Em 1948, Blacket recebeu o prêmio nobel pela descoberta.

1979):



o esquema da [Figura 5.2](#) ilustra a formação de pares a partir da aniquilação entre dois fótons.

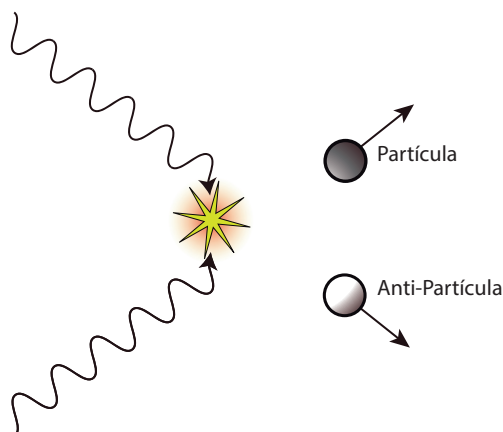


Figura 5.2 – Produção de par partícula-antipartícula devido a aniquilação de dois fótons. Fonte: [Lamônica \(2021\)](#).

### Aniquilação de pares

A [Equação 5.1](#) mostra que a produção de pares é um processo reversível<sup>7</sup>, conhecido como aniquilação de pares, neste caso é a matéria que dá lugar a energia radiante. Quando um pósitron se encontra com um elétron, os dois estabelecem um sistema denominado *positrônio*, onde produzem um movimento em torno do centro de massa, chamado por [Eisberg e Resnick \(1979\)](#) de “dança da morte”, que dura aproximadamente  $10^{-10}$  s, até se aniquilarem. Neste momento, seguindo as leis de conservação, são criados dois fótons antiparalelos<sup>8</sup> ([EISBERG; RESNICK, 1979](#)). A aniquilação de pares está esquematizada na [Figura 5.3](#).

Aproveitamos o processo de aniquilação para retornarmos ao final da [seção 5.2](#), na discussão sobre a assimetria de matéria e antimatéria. O referido processo é o motivo pelo qual esta assimetria se torna tão incomum. Segundo a teoria sobre o início do universo mais aceita atualmente, o Big Bang, acredita-se que matéria e antimatéria tenham sido criadas em igual quantidade, o que ocasionaria um universo completamente instável, mas, como dito anteriormente, por algum motivo a matéria prevaleceu. Caso não fosse, haveria uma ação contínua de produção e aniquilação de pares fazendo com que o universo fosse constituído apenas de fótons. Por este mesmo motivo, a produção de antimatéria em laboratório é um tanto quanto complexa, para isso é necessário um equipamento que

<sup>7</sup> Neste caso, reversível tem sentido de inverso, diferente de um processo simultâneo, como em química.

<sup>8</sup> A criação de dois fótons é a de maior ocorrência, no entanto, em alguns casos podem ser criados três fótons, mas nunca somente um, pois o momento seria zero, contrariando a conservação do momento.

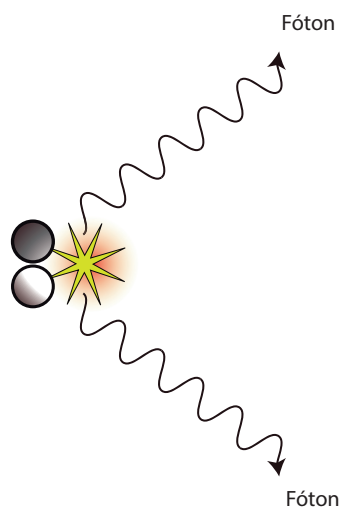


Figura 5.3 – Aniquilação de par partícula-antipartícula dando origem a dois fótons. Fonte: Lamônica (2021).

produza um ambiente de vácuo onde as antipartículas possam ser armazenadas. O maior tempo que os cientistas conseguiram manter átomos de anti-hidrogênios foi durante 16 minutos, em 2011 no projeto ALPHA no CERN. Ainda assim, antipartículas podem ser encontradas naturalmente no universo. Além dos raios cósmicos, acredita-se que 10% da luz solar visível se deve a aniquilação de matéria-antimatéria no interior da estrela, e as antipartículas também existem em nosso mundo devido aos isótopos radioativos que sofrem decaimento  $\beta^+$ . A banana por exemplo, devido à presença do isótopo do potássio, emite um pósitron em torno de cada 75 minutos, que rapidamente é aniquilado com um elétron, transformando toda a massa em energia equivalente. No mais, estes fatos mostram que, com certeza uma bomba de antimatéria destruiria o Vaticano, mas somente se fosse possível carregá-la dentro de uma mala, como escrito por Brown no livro *Anjos e Demônios* (LAMÔNICA, 2021; ALPHA, 2011; RIVERA, 2020; SATO, 2018).

## 5.4 Antipartículas: Como nos afetam?

Mesmo contidas de mistérios, as antipartículas representam um avanço tecnológico de grande importância para a humanidade, tanto no que diz respeito a saúde quanto a possibilidade de uma nova forma de geração de energia. Veremos a seguir sua utilização na medicina moderna e posteriormente um possível futuro para o emprego da matéria e antimatéria.

### 5.4.1 Tomografia Computadorizada por Emissão de Pósitrons

As tecnologias físicas compõem cada vez mais as técnicas de diagnósticos e de tratamentos na medicina moderna. Obviamente as antipartículas, como boas personagens da física moderna, possuem participação nesse importante desenvolvimento para a humanidade. A partir de 1950, quando já se conhecia o pósitron e os processos de interação entre partículas e antipartículas, os cientistas buscaram uma forma de utilizar a aniquilação de pares para aprimorar imagens diagnósticas, inicialmente, cerebrais. E ao longo de algumas

décadas, a hoje conhecida *Tomografia por Emissão de Pósitrons* (PET)<sup>9</sup> que promove a aniquilação de partícula e antipartícula no interior do corpo humano, tornou-se um exame cada vez mais qualificado e utilizado em tempos atuais (MACHADO A. C. B.; PLEITEZ; TIJERO, 2007).

O exame tem como princípio fundamental a emissão de pósitrons, como enunciado pelo seu próprio nome, e a consequente aniquilação com um elétron. Para a realização do exame se utilizam determinadas substâncias rastreadoras, os chamados radiofármacos, que são administrados ao paciente e emitem pósitrons, devido ao decaimento  $\beta^+$ . Como foi visto na seção 5.3, ao se encontrarem, o pósitron e o elétron formam o sistema positrônio até se aniquilarem, liberando dois fótons em sentidos opostos, o que significa que, quando detectados em coincidência, esses fótons permitem estabelecer o ponto onde ocorreu a aniquilação. Os radiofármacos são compostos por um radionuclídeo incorporado a moléculas orgânicas, no entanto, possuem meias-vidas físicas relativamente curtas, tornando necessário, na maioria das vezes, a presença de um acelerador nas dependências de onde o exame é realizado para que os radionuclídeos sejam produzidos (OLIVEIRA; CARVALHO *et al.*, 2017; ROBILOTTA, 2006). Na Tabela 5.2 estão apresentados alguns dos principais radionuclídeos com decaimento  $\beta^+$  e suas respectivas meias-vidas.

Tabela 5.2 – Principais radionuclídeos emissores  $\beta^+$

Radionuclídeo	Meia-vida (min)
Carbono-11	20,4
Nitrogênio-13	9,96
Oxigênio-15	2,07
Flúor-18	109,8
Gálio-68	68
Rubídio-82	1,3

Fonte – Robilotta (2006)

Como podemos observar, o flúor-18 possui uma meia-vida longa comparado aos outros, o que permite que esse radionuclídeo seja transportado por cerca de 100 km terrestres, flexibilizando o seu uso pois não exige a presença de um acelerador no centro de diagnóstico. Além do que, quando combinado, forma um radiofármaco similar a glicose, a fluorodeoxiglicose (FDG), que indica a função metabólica da célula devido a tender ser consumido por células ativas. Por este motivo, o exame se torna propício a detecção de tumores, as células cancerígenas possuem metabolismo acelerado sendo altas consumidoras de glicose. Portanto, a FDG tende a se acumular em tumores, ocasionando uma alta emissão de fótons na localização tumoral, permitindo a sua visibilidade nas imagens geradas pelo equipamento (ROBILOTTA, 2006; AGUILAR *et al.*, 2013). A seguir, a Figura 5.4 representa o decaimento do carbono-11 em boro-11.

Atualmente, com a evolução da tecnologia, existem os chamados equipamentos híbridos, capazes de realizar dois exames diferentes em um único equipamento, sobrepondo as imagens. Especificamente, a junção do PET com a tomografia convencional (Tomografia Computadorizada - CT<sup>10</sup>) realiza uma sobreposição de imagens anatômicas da CT com

<sup>9</sup> Do inglês: *Positron Emission Tomography*

<sup>10</sup> Do inglês: *Computed Tomography*

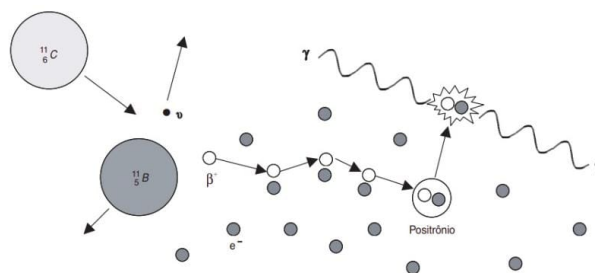


Figura 5.4 – Decaimento  $\beta^+$  do carbono-11 em boro-11, onde há emissão de pósitron, seguido da formação do sistema positrônio e posterior aniquilação e emissão de fótons. Fonte: [Robilotta \(2006\)](#).

imagens de análise funcional ou metabólica do PET gerando imagens em três dimensões, denominado PET/CT. Entre muitas técnicas notáveis, o PET/CT é considerado um dos exames mais modernos da Medicina Nuclear<sup>11</sup>. Segundo o médico nuclear Alexandre Brandão, do Hospital Amaral Carvalho, “O PET-CT é o melhor exame que existe para diagnóstico de câncer, porque ele realiza dois exames de uma só vez: uma tomografia convencional e um PET.”. O PET/CT permite de maneira não invasiva, classificar um tumor como maligno ou benigno e qualifica a resposta clínica do paciente ao tratamento, permitindo que sejam feitas intervenções precisas quando necessário ([BOLAÑOS et al., 2013](#); [FURLANETTI, 2014](#)).

## 5.4.2 Geração de Energia

No filme de ficção científica *Jornada nas Estrelas*, a nave Enterprise usa como combustível a energia gerada a partir da aniquilação de matéria e antimatéria, o que na verdade, não é algo tão fictício assim. O processo de aniquilação, que obedece a equivalência massa-energia, corresponde a destruição mútua de matéria e antimatéria, ou seja, toda a massa envolvida é transformada 100% em energia. De acordo com o físico [Sato \(2018\)](#), para ter uma noção de quanta energia é gerada, um grama de matéria e um grama de antimatéria seriam suficientes para manter uma lâmpada de 100 W acesa por 57 mil anos. Por este motivo, matéria e antimatéria se tornam o melhor combustível para que sejam realizadas viagens espaciais. [Sato \(2018\)](#) esclarece que:

Isto pode ter uma aplicação valiosa para exploração espacial, pois uma boa parte do problema que temos ao lançar um foguete ao espaço é o combustível necessário tanto para sair da atmosfera da Terra, quanto do planeta onde o foguete irá pousar, que torna o foguete pesado. Mas para que este tipo de aplicação aconteça precisamos melhorar a eficiência da produção de antimatéria, baratear o processo, desenvolver novas tecnologias de armazenamento e aprender a controlar o uso desta energia, caso contrário teríamos apenas uma bomba poderosíssima! ([SATO, 2018](#)).

A antimatéria é definitivamente o material mais caro do mundo, custando cerca de alguns trilhões de reais por grama ([SANTOS, 2003](#); [SATO, 2018](#)). Fascinante, misteriosa e um tanto problemática, a antimatéria ocupa um lugar de protagonismo na ciência e na tecnologia, nas três linhas temporais (passado, presente e futuro). Suas propriedades

<sup>11</sup> A medicina nuclear é a área médica responsável por diagnósticos e tratamentos através da utilização de radiofármacos.



---

tem atraído os olhos da humanidade em diferentes âmbitos, como foi visto neste material. Escassa comparada a matéria, mas que abrange um largo espaço no universo, atraindo os físicos teóricos e experimentais, a medicina, os cientistas que pesquisam maneiras de controlá-la, escritores de ficção científica e a população leiga em geral. É umas das descobertas mais geniais do meio científico, o qual tem sua infinidade de se renovar vista em cada teoria da velha e nova ciência.



## 6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Considerando a problemática relatada, a partir da análise da proposta de ensino estabelecida pela Base Nacional Comum Curricular, em que há relevância educativa nos aspectos ligados a ciência, tecnologia e modernidade, e os aspectos que correspondem a aprendizagem da Física de Partículas, principalmente no que diz respeito as interações entre matéria e energia, compreende-se também o Livro Didático como uma ferramenta fundamental e alinhada, por legislação, ao currículo de ensino. Para tanto, através do levantamento bibliográfico dos doze livros, até então recomendados pelo PNLD, com intenção de verificar a abordagem do assunto neste material, foi notória a discrepância com a qual a área referida é abordada nos livros. Em maioria, as obras enfatizam a Física Clássica, em muito conectadas aos vestibulares, e as áreas da Física Moderna acabam por possuir pouco espaço educacional e conseqüentemente, cada grande área é reduzida a conceitos puros sem muita associação à contribuição social que representam.

Colocando em pauta a ponte estabelecida pelo interesse dos estudantes entre entretenimento e ciência em obras de ficção científica, as quais são muito marcadas pelo uso da Antimatéria, a Física de Partículas Elementares como uma das maiores áreas de pesquisa atual e seu marco histórico inicial na descoberta do pósitron, a importância da assimetria entre matéria e antimatéria no Big Bang para a formação do universo e de nós mesmos, as aplicações tecnológicas, entre outros fatores, denotam que o estudo das Partículas e Antipartículas, bem como os seus processos de produção e aniquilação de pares, possuem relevância no que se refere ao conhecimento transmitido na escola. Tanto no que corresponde a um tema de potencial desmedido, carregado de motivação à introdução do estudo da Física de Partículas, quanto para contribuir com uma visão aberta de mundo, entendimento da Ciência e sua evolução e seu importante espaço na sociedade.

Unindo todos os pontos expostos acima, o material de apoio produzido carrega o objetivo de aprimorar os conceitos de Partículas e Antipartículas e as descobertas, presença no cotidiano e tecnologias envolvidas nesta perspectiva, de modo a despertar a curiosidade do aluno e colaborar para a introdução da Física de Partículas no ensino. Espera-se que através de um olhar mais dinâmico, o estudante da educação básica possa conhecer e compreender o fazer científico, as transições e mudanças que ocorrem no meio, o trabalho conjunto dos cientistas e, particularmente, entendam o verdadeiro significado de se estudar Física, podendo enxergar sua essência no mundo ao mesmo tempo sem que se sustente a ideia de uma ciência pronta. Como citado no início deste trabalho, a Física é a porta de todas as coisas mágicas, logo se espera que o mundo mágico das antipartículas possa mostrar ao estudante que muita Ciência foi realizada, mas ainda há muita Ciência a ser realizada.

## REFERÊNCIAS

- ABDALLA, M. C. B. *O discreto charme das Partículas Elementares*. São Paulo: Departamento de Astronomia - Instituto de Física da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2006. 344 p. ISBN 85-739-641-8.
- AGUILAR, J. C. *et al.* Análisis comparativo del conocimiento de los métodos de planificación familiar entre mujeres de san juan sacatepéquez y ciudad capital. *Fundación Chusita Llerandi de Herrera*, p. 6, 2013.
- AHMADI, M. *et al.* Observation of the hyperfine spectrum of antihydrogen. *Nature*, Nature Publishing Group, v. 548, n. 7665, p. 66–69, 2017.
- ALPHA, C. Confinement of antihydrogen for 1,000 seconds. *Nature Phys*, n. 7, 2011. Disponível em: <<https://doi.org/10.1038/nphys2025>>. Acesso em: 30 jun 2021.
- ALVARENGA, B. *et al.* *Do átomo Grego à Física das Interações Fundamentais*. Rio de Janeiro: CBPF, 2000. 179-196 p.
- ANDERSON, C. D. The apparent existence of easily deflectable positives. *Science*, American Association for the Advancement of Science, v. 76, n. 1967, p. 238–239, 1932. ISSN 0036-8075. Disponível em: <<https://science.sciencemag.org/content/76/1967/238>>. Acesso em: 28 jun 2021.
- ANDERSON, C. D. The positive electron. *Physical Review*, APS, v. 43, n. 6, p. 491, 1933.
- AVANCINI, S. S.; MARINELLI, J. R. *Tópicos de física nuclear e partículas elementares*. 1. ed. Florianópolis: UFSC/EAD/CED/CFM, 2009. 103 p. ISBN 978-8-599-37958-5.
- BERLANTI, G.; KREISBERG, A.; JOHNS, G. *Arrow*. [S.l.]: Warner Bros. Television Distribution, 2012. Série de TV. Netflix.
- BERLANTI, G.; KREISBERG, A.; JOHNS, G. *The Flash*. [S.l.]: Warner Bros. Television Distribution, 2014. Série de TV. Netflix.
- BERTOTTO, W. *Sindicato do Crime | Conheça a equipe de vilões que chegará nas HQ's em março*. Terra Verso, 2020. Disponível em: <<https://terraverso.com.br/hqs/sindicato-do-crime-conheca-a-equipe-de-viloes-que-chegara-nas-hqs-em-marco/>>. Acesso em: 1 jul 2021.
- BISCUOLA, G. J.; BÔAS, N. V.; DOCA, R. H. *Tópicos de Física*. 2. ed. São Paulo: Saraiva, 2014. 527 p. ISBN 978-85-02-22248-9.
- BOLAÑOS, A. L. *et al.* Importancia de la tomografía por emisión de positrones (pet/ct) en la decisión terapéutica de pacientes con enfermedad oncológica. *Fundación Chusita Llerandi de Herrera*, p. 14, 2013.
- BONJORNO, J. R. *et al.* *Física*. 3. ed. São Paulo: FTD, 2016. 272 p. ISBN 978-85-96-00334-6 (AL) / 978-85-96-00335-3 (PR).
- BRASIL. *Decreto nº 91.542, de 19 de Agosto de 1985*: Institui o programa nacional do livro didático, dispõe sobre sua execução e dá outras providências. Brasília: Diário Oficial da União. Coleção de Leis do Brasil, 1985.

BRASIL. Parâmetros curriculares nacionais: Ensino médio. Ministério da Educação, Brasília, 1997.

BRASIL. *Decreto nº 9.099, de 18 de julho de 2017*: Dispõe sobre o programa nacional do livro e do material didático. Brasília: Presidência da República. Secretaria Geral, 2017.

BRASIL. Resolução cne/cp n. 2, de 22 de dezembro de 2017: Institui e orienta a implantação da base nacional comum curricular, a ser respeitada obrigatoriamente ao longo das etapas e respectivas modalidades no âmbito da educação básica. Ministério da Educação. Conselho Nacional de Educação, Brasília, 2017. Disponível em: <[http://basenacionalcomum.mec.gov.br/images/historico/RESOLUCAOCNE\\_CP222DEDEZEMBRODE2017.pdf](http://basenacionalcomum.mec.gov.br/images/historico/RESOLUCAOCNE_CP222DEDEZEMBRODE2017.pdf)>. Acesso em: 17 jul 2021.

BRASIL. *Base Nacional Comum Curricular*. Brasília: Ministério da Educação, Secretaria de Educação Básica, 2018. Disponível em <<http://basenacionalcomum.mec.gov.br>>. Acesso em 15 jun 2021.

BRASIL. Programa de apoio à implementação da bncc – probncc: Documento orientador do probncc 2019. Ministério da Educação, Secretaria de Educação Básica, Brasília, 2019. Disponível em: <[http://basenacionalcomum.mec.gov.br/images/implementacao/doc\\_orientador\\_probncc\\_2019.pdf](http://basenacionalcomum.mec.gov.br/images/implementacao/doc_orientador_probncc_2019.pdf)>.

BRASIL. Portaria nº 521, de 13 de julho de 2021: Institui o cronograma nacional de implementação do novo ensino médio. *Diário Oficial da União*, Ministério da educação. Gabinete do Ministro, Brasília, 2021. Disponível em: <<https://www.in.gov.br/en/web/dou/-/portaria-n-521-de-13-de-julho-de-2021-331876769>>. Acesso em: 24 jul 2021.

BROWN, D. *Anjos e Demônios*. Editora Sextante: Ática, 2004. 464 p. ISBN 0-671-02735-2.

CARUSO, F. O milho e a pérola: a descoberta do pósitron e a moral da fábula. In: *Partículas Elementares: 100 Anos de Descobertas*. Manaus: Editora da Universidade Federal da Amazônia, 2005. p. 133–150. ISBN 85-7401-171-1.

CARUSO, F.; OGURI, V. *Física Moderna: Origens Clássicas e Fundamentos Quânticos*. Rio de Janeiro: Elsevier, 2006. 640 p. ISBN 978-8-535-21878-7.

DE PAULA, L. *Porque existe mais matéria do que antimatéria? LHCb - Um experimento para responder a essa pergunta*. Rio de Janeiro: Universidade Federal do Rio de Janeiro, 1998. Disponível em: <<https://www.if.ufrj.br/~leandro/divulga/cp/node1.html>>. Acesso em: 05 jun. 2021.

DIRAC, P. A. M. The quantum theory of the electron. *Proceedings of the Royal Society of London. Series A, Containing Papers of a Mathematical and Physical Character*, The Royal Society London, v. 117, n. 778, p. 610–624, 1928.

DIRAC, P. A. M. Quantised singularities in the electromagnetic field. *Proceedings of the Royal Society of London. Series A, Containing Papers of a Mathematical and Physical Character*, The Royal Society London, v. 133, n. 821, p. 60–72, 1931.

EISBERG, R. M.; RESNICK, R. *Física Quântica: átomos, moléculas, sólidos, núcleos e partículas*. Rio de Janeiro: Editora Campus-Elsevier, 1979. 936 p. ISBN 978-8-570-01309-5.

FILHO, A. G.; TOSCANO, C. *Física: Interações e Tecnologia*. 2. ed. São Paulo: Leya, 2016. 304 p. ISBN 978-85-451-0329-5.

FILHO, B. B.; SILVA, C. X. da. *Física aula por aula*. 3. ed. São Paulo: FTD, 2016. 256 p. ISBN 978-85-96-00319-3.

FNDE. *Guia Digital do PNLD 2018*. Brasília: Fundo Nacional de Desenvolvimento da Educação. Ministério da Educação, 2017. Disponível em: <<https://www.fnde.gov.br/pnld-2018/>>. Acesso em: 25 jul 2021.

FNDE. *Programas do Livro*. Ministério da Educação. Fundo Nacional de Desenvolvimento da Educação, 2021. Disponível em: <<http://www.fnde.gov.br/index.php/programas/programas-do-livro/pnld/guia-do-pnld>>. Acesso em: 25 jul 2021.

FRANCO, H. *História da Mecânica, Cosmologia e Matemática na Antiguidade: Grécia antiga e alexandria*. 2. ed. Instituto de Física da Universidade de São Paulo: Apostila de Evolução dos Conceitos de Física, 2002.

FURLANETTI, B. *PET-CT é o melhor exame para diagnóstico de câncer, afirma médico nuclear*. Hospital Amaro Carvalho, 2014. Disponível em: <[https://www.amaralcarvalho.org.br/amaralcarvalho/pt/destaques-conteudo/visualizar/coddestaques\\_conteudo/260/pet-ct-e-o-melhor-exame-para-diagnostico-de-cancer-afirma-medico-nuclear.html](https://www.amaralcarvalho.org.br/amaralcarvalho/pt/destaques-conteudo/visualizar/coddestaques_conteudo/260/pet-ct-e-o-melhor-exame-para-diagnostico-de-cancer-afirma-medico-nuclear.html)>. Acesso em: 1 jul 2021.

GANDRA, G. H.; DERING, R. de O. Impactos legais da bncc nos currículos escolares: reflexões basilares sobre a formação educacional do jovem brasileiro. *Vozes da Educação: pesquisas e escritas contemporâneas*. São Carlos: Pedro e João Editores, v. 2, n. 9, 2019.

GASPAR, A. *Física*. 2. ed. São Paulo: Ática, 2013. 456 p. ISBN 978 8508 16367-0 (AL) / 978 8508 16368-7 (PR).

GOUVEIA, M. S. F. et al. *Cursos de ciencias para professores do 1. grau: elementos para uma politica de formação continuada*. Tese (Doutorado) — Faculdade de Educação, Universidade Estadual de Campinas, 1992.

GUIMARAES, O.; PIQUEIRA, J. R.; CARRON, W. *Física*. 2. ed. São Paulo: Ática, 2016. 384 p. ISBN 978850817953 4 (AL) / 978850817954 1 (PR).

HALLIDAY, D.; RESNICK, R.; WALKER, J. *Fundamentos de Física: Óptica e física moderna*. 9. ed. São Paulo: Grupo Gen-LTC, 2012. v. 4.

HELAYËL-NETO, J. A. Aquele auspicioso 2 de janeiro de 1928. *Acontece na SBF*, Sociedade Brasileira de Física, 2018.

HICKMAN, I. A. de Bediaga e. Antimatéria: o universo sem espelho. *Revista eletrônica de cosmologia e cultura*, Cosmos e Contexto, v. 43, 2020. ISSN 2358-9809. Disponível em: <<https://cosmosecontexto.org.br/antimateria-o-universo-sem-espelho/>>. Acesso em: 19 jun. 2021.

INEP. *Censo Escolar*. Governo do Brasil, Inep, Censo Escolar 2020, 2020. Disponível em: <[https://download.inep.gov.br/censo\\_escolar/resultados/2020/apresentacao\\_coletiva.pdf](https://download.inep.gov.br/censo_escolar/resultados/2020/apresentacao_coletiva.pdf)>. Acesso em: 26 jul 2021.

KALMUS, P. Particle physics at a-level-the universities' viewpoint. *Physics Education*, v. 27, n. 2, p. 62–64, 1992.

- LAMÔNICA, J. C. *Nucleossíntese e Evolução Estelar no Ensino de Física*. Monografia (Graduação) — Instituto do Noroeste Fluminense de Educação Superior, Universidade Federal Fluminense, Santo Antônio de Pádua, 2021.
- LIMA, A. H. V.; GOMES, A. P. de O.; LIMA, J. N. N. P. de. *Teoria e prática docente: onde estamos e para onde vamos?* São Paulo: Pimenta Cultural, 2020.
- LUZ, A. M. R. da; ÁLVARES, B. A.; GUIMARAES, C. da C. *Física: Contexto e Aplicações*. 2. ed. São Paulo: Scipione, 2016. 352 p. ISBN 978852629923 8 (AL) / 978852629924 5 (PR).
- MACHADO A. C. B.; PLEITEZ, V.; TIJERO, M. C. Usando a antimatéria na medicina moderna. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, v. 28, n. 4, p. 407–416, 2007. ISSN 1806-9126. Disponível em: <<https://doi.org/10.1590/S1806-11172006000400001>>. Acesso em: 05 jun. 2021.
- MANTOVANI, K. P. *O Programa Nacional do Livro Didático-PNLD: impactos na qualidade do ensino público*. Tese (Doutorado) — Universidade de São Paulo, 2009.
- MARTINI, G. *et al. Conexões com a Física*. 3. ed. São Paulo: Moderna, 2016. 391 p.
- MELLO, G. N. de. *Currículo da Educação Básica no Brasil: concepções e políticas*. 2014. Disponível em: <[https://movimentopelabase.org.br/wp-content/uploads/2015/09/guimar\\_pesquisa.pdf](https://movimentopelabase.org.br/wp-content/uploads/2015/09/guimar_pesquisa.pdf)>. Acesso em: 17 jul 2021.
- MICHAELIS, D. Dicionário brasileiro da língua portuguesa. *São Paulo: Melhoramentos*, 2015. Dicionário online. Disponível em: <<https://michaelis.uol.com.br/>>. Acesso em: 24 jul 2021.
- MONTEIRO, M. M.; MARTINS, A. F. P. História da ciência na sala de aula: Uma sequência didática sobre o conceito de inércia. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, v. 37, n. 4, 2015. ISSN 1806-9126.
- MORANDIN, J.; SILVA, N.; VANZ, S. O desempenho das universidades brasileiras no u-multirank e ranking universitário folha. *Ciência da Informação em Revista*, v. 7, n. 2, p. 116–136, 2020. ISSN 2358-0763. Disponível em: <<https://www.seer.ufal.br/index.php/cir/article/view/9643>>.
- NALIATO, S. *O retorno do Sindicato do Crime ao Universo DC*. Universo HQ, 2013. Disponível em: <<https://universohq.com/noticias/retorno-sindicato-crime-universo-dc/>>. Acesso em: 1 jul 2021.
- NEIRA, M. G.; JÚNIOR, W. A.; ALMEIDA, D. F. de. A primeira e segunda versões da bncc: construção, intenções e condicionantes. *EccoS–Revista Científica*, n. 41, p. 31–44, 2016.
- OBJETIVO; COMVEST. *Provas comentadas: UNICAMP 2015*. Curso Objetivo, 2015. Disponível em: <[http://www.comvest.unicamp.br/vest\\_anteriores/2015/download/comentadas/fisica.pdf](http://www.comvest.unicamp.br/vest_anteriores/2015/download/comentadas/fisica.pdf)>. Acesso em: 19 jun. 2021.
- OLIVEIRA, A.; ROCKENBACH, M.; PACINI, A. Raios cósmicos e a heliosfera. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, v. 36, n. 2, p. 1–13, 2014. ISSN 1806-9126.
- OLIVEIRA, A. de. *A força criadora do universo*. [S.l.]: Física sem mistérios, 2010.

- OLIVEIRA, S. M. V. d.; CARVALHO, R. P. d. *et al.* Aplicações da energia nuclear na saúde. Sociedade Brasileira para o Progresso da Ciência (SBPC), 2017.
- OSTERMANN, F. Partículas elementares e interações fundamentais. *Textos de apoio ao professor de Física*, Instituto de Física – UFRGS. Porto Alegre, n. 12, 2001.
- OSTERMANN, F.; MOREIRA, M. A. Atualização do currículo de física na escola de nível médio: um estudo dessa problemática na perspectiva de uma experiência em sala de aula e da formação inicial de professores. *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), v. 18, n. 2, p. 135–151, 2001.
- PERES, T. R. *A educação brasileira no Império*. UNESP, 2010. Disponível em: <<http://acervodigital.unesp.br/handle/123456789/105>>. Acesso em: 16 jul 2021.
- PIETROCOLA, M. *et al.* *Física em contextos*. 1. ed. São Paulo: Editora do Brasil, 2016. 288 p. ISBN 978-85-10-06264-0.
- PINHEIRO, L. A.; COSTA, S. S. C.; MOREIRA, M. A. Do átomo grego ao modelo padrão: os indivisíveis de hoje. *Textos de apoio ao professor de Física*, Instituto de Física – UFRGS. Porto Alegre, v. 22, n. 6, p. 106, 2011.
- RIVERA, B. G. La antimateria. *Revista española de física*, Real Sociedad Española de Física, v. 34, n. 3, p. 1–6, 2020.
- ROBILOTTA, C. C. A tomografia por emissão de pósitrons: uma nova modalidade na medicina nuclear brasileira. *Revista Panamericana de Salud Pública*, SciELO Public Health, v. 20, p. 134–142, 2006.
- ROSA, C. W.; ROSA, A. B. Ensino de Física: objetivos e imposições no ensino médio. *Revista Electrónica de Enseñanza de las ciencias*, v. 4, n. 1, 2005.
- ROSA, C. W.; ROSA, A. B. O ensino de ciências (Física) no Brasil: da história às novas orientações educacionais. *Revista Iberoamericana de Educación*, n. 58/2, 2012.
- ROSA, C. W. da; ROSA, Á. B. da. Ensino de física: objetivos e imposições no ensino médio. *Revista Electrónica de Enseñanza de las ciencias*, v. 4, n. 1, 2005.
- SANTOS, A. C. F. dos. Interação matéria-antimatéria e matéria-matéria a energias intermediárias. *Physicae*, v. 3, n. 1, p. 1–8, 2003.
- SATO, E. A. Antimatéria: O material mais caro do mundo! *Torta de Maça Primordial*, UNICAMP, v. 4, n. 6, 2018. ISSN 2526-6187. Disponível em: <<https://www.blogs.unicamp.br/tortaprimordial/2018/06/21/antimateria-o-material-mais-car-do-mundo/>>. Acesso em: 30 jun 2021.
- SILVA, A. S. da; SOUZA, A. O. de. Política educacional no brasil: do império à república. *Rios Eletrônica- Revista Científica da FASETE*, n. 5, 2011.
- SIQUEIRA, M. *Do visível ao indivisível*: uma proposta de física de partículas elementares para o ensino médio. São Paulo: Universidade de São Paulo, 2006.
- SORENSEN, R. do N.; TEIXEIRA, R. R. P. A ficção científica no ensino de física. In: *Semana Nacional de Ciência e Tecnologia*. [S.l.: s.n.], 2018.



TIPLER, P. A.; LLEWELLYN, G. *Física Moderna*. 6. ed. Rio de Janeiro: Grupo Gen-LTC, 2014. ISBN 978-8-521-62607-7.

TORRES, C. M. A. *et al. Física: Ciência e Tecnologia*. 4. ed. São Paulo: Moderna, 2016. 376 p.

UFF. *Dia Nacional do Livro: 29 de outubro*. UFF. Ensino médio em diálogo, 2012. Disponível em: <<http://www.emdialogo.uff.br/node/4254>>. Acesso em: 26 jul 2021.

VÁLIO, A. B. M. *et al. Ser Protagonista: Física*. 3. ed. São Paulo: Edições SM, 2016. 288 p. ISBN 978-85-418-1361-7(AL) / 978-85-418-1362-4(PR).

WOLFMAN, M.; PÉREZ, G.; ORDWAY, J. *Crise nas Infinitas Terras*. [S.l.]: DC Comics, 1985. História em Quadrinhos.

XAVIER, F. R.; TOLEDO, S. M. A.; CARDOSO, Z. S. Programa nacional do livro e do material didático (pnld): caminhos percorridos. *Revista Educação em Debate*, v. 42, n. 82, 2020.

YAMAMOTO, K.; FUKU, L. F. *Física para o Ensino Médio*. 4. ed. São Paulo: Saraiva, 2016. 400 p. ISBN 978-854720578-2.