



UNIVERSIDADE FEDERAL DO ABC  
MESTRADO NACIONAL PROFISSIONAL EM ENSINO DE FÍSICA

ANDRÉ LIMA GOMES

**A DIVULGAÇÃO CIENTÍFICA PARA ENSINAR FÍSICA DE PARTÍCULAS:  
PROPOSTAS PARA SALA DE AULA DO ENSINO MÉDIO**

Santo André - SP  
Setembro de 2019

ANDRÉ LIMA GOMES

**A DIVULGAÇÃO CIENTÍFICA PARA ENSINAR FÍSICA DE PARTÍCULAS:  
PROPOSTAS PARA SALA DE AULA DO ENSINO MÉDIO**

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação da Universidade Federal do ABC no Curso de Mestrado Profissional de Ensino de Física (MNPEF), como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Ensino de Física.

Orientadora: Profa. Dra. Graciella Watanabe

Santo André - SP

Setembro de 2019

Autorizo a reprodução e divulgação total ou parcial deste trabalho, por qualquer meio convencional ou eletrônico, para fins de estudo e pesquisa, desde que citada a fonte.

Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal do ABC  
Elaborada pelo Sistema de Geração de Ficha Catalográfica da UFABC  
com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

Gomes, André Lima

A divulgação científica para ensinar Física de Partículas : propostas para sala de aula no Ensino Médio / André Lima Gomes. — 2019.

134 fis.

Orientadora: Graciella Watanabe

Dissertação (Mestrado) — Universidade Federal do ABC, Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física - MNPEF, Santo André, 2019.

1. Divulgação Científica. 2. Ensino de Física. 3. Física de Partículas. 4. Textos. I. Watanabe, Graciella. II. Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física - MNPEF, 2019. III. Título.

Este exemplar foi revisado e alterado em relação à versão original, de acordo com as observações levantadas pela banca no dia da defesa, sob responsabilidade única do(a) autor(a) e com a anuência do(a) orientador(a).

SANTO ANDRÉ, 19 de NOVEMBRO de 2019

Assinatura do(a) autor(a):



Assinatura do(a) orientador(a):

Graciela Watanabe



**MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO**

**Fundação Universidade Federal do ABC**

Avenida dos Estados, 5001 - Bairro Santa Teresinha - Santo André - SP  
CEP 09210-580 - Fone: (11) 4996-0017

**FOLHA DE ASSINATURAS**

Assinaturas dos membros da Banca Examinadora que avaliou e aprovou a Defesa de Dissertação de Mestrado do candidato, ANDRÉ LIMA GOMES realizada em 13 de Setembro 2019:

Prof.(a) Dr.(a) **MARCIA BEGALLI**

UNIVERSIDADE ESTADUAL DO RIO DE JANEIRO - Membro Titular

Prof.(a) Dr.(a) **VALÉRIA SILVA DIAS**

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO - Membro Titular

Prof.(a) Dr.(a) **LUCIO CAMPOS COSTA**

UNIVERSIDADE FEDERAL DO ABC - Membro Suplente

Prof.(a) Dr.(a) **MARCELO GAMEIRO MUNHOZ**

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO - Membro Suplente

Prof.(a) Dr.(a) **GRACIELLA WATANABE**

UNIVERSIDADE FEDERAL DO ABC - Presidente

\* Por ausência do membro titular, foi substituído pelo membro suplente descrito acima; nome completo, instituição e assinatura



Universidade Federal do ABC

À Mônica, meu equilíbrio.  
À minha Mãe, meu referencial.

## **Agradecimentos**

A aventura de se lançar à pós-graduação e conseguir finalizá-la só foi possível pelo fato de ter um conjunto de pessoas incríveis ao meu lado que me deram energia para prosseguir nessa empreitada. Não existe uma ordem de importância, tampouco uma escala que consiga mensurar a importância desse alicerce que me fortaleceu nesse processo.

Primeiramente, gostaria de agradecer à Professora Graciella Watanabe pela dedicação, honestidade, franqueza e respeito com que sempre me tratou, a despeito das minhas limitações. Agradeço-lhe infinitamente por ter aceitado embarcar nessa empreitada comigo, por sempre me incentivar a percorrer esse longo caminho até aqui, por me guiar com tamanha mestria e por me corrigir na hora certa sem nunca me desmotivar. Tenho certeza de que não chegaria nesse ponto sem o seu inestimável apoio.

Agradeço às participantes da banca examinadora, Profa. Dra. Graciella Watanabe, Profa. Dra. Márcia Begalli e a Profa. Dra. Valéria Silva Dias, que dividiram comigo este importante e esperado momento e pelas inestimáveis contribuições acerca do presente trabalho.

Aos colegas de turma do MNPEF, pelo ótimo convívio em sala de aula, por esse tempo de amizade e inestimável partilha de vivências da nossa prática e de ideias inovadoras.

Aos colegas de grupo de trabalho Antônio, Bruno, Rafael e Ramon, muito obrigado pelas contribuições e compartilhamento de conhecimentos, de angústias e inspirações. Espero que possamos continuar colaborando mutuamente.

Ao amigo Francisco Flávio, pelas palavras amigas e risadas impagáveis.

Ao Rodrigo Almeida Souza, pela preciosa ajuda com o inglês.

À Universidade Federal do ABC (UFABC) e à Sociedade Brasileira de Física (SBF), pela iniciativa e condução do MNPEF contribuindo, assim, diretamente com a formação de professores em exercício.

À Profa. Dra. Laura Paulucci Marinho, coordenadora do MNPEF da UFABC, que sempre esteve à disposição para nos ajudar nas mais variadas demandas acadêmicas e administrativas.

Aos professores do MNPEF do polo UFABC, com os quais tive a honra de poder compartilhar conhecimentos, fosse durante as disciplinas cursadas ou mesmo nas conversas informais: Prof. Dr. Célio Adrega de Moura Júnior, Profa. Dra. Graciella Watanabe, Prof. Dr. Jean Jacques Bonvent, Prof. Dr. José Antônio Souza, Prof. José Kenichi Mizukoshi, Profa. Dra. Laura Paulucci, Prof. Dr. Nelson Studart Filho, Prof. Dr. Pedro Galli Mercadante, muito obrigado.

Aos assistentes administrativos da Pró-Reitoria de Pós-Graduação da UFABC, especialmente a Marly Conceição do Rego pela atenção e presteza em nos ajudar.

À instituição EE Leda Guimarães Natal por todo o apoio e paciência durante o processo de pesquisa e aplicação do produto educacional. Um abraço especial à direção que confiou e abraçou a causa, aos meus amados alunos que tornam os nossos dias tão bons de serem compartilhados, aos professores por me aguentarem falar da divulgação científica o tempo todo, especialmente à professora Rosana pela troca de ideias e ao professor Tadeu por sempre ter uma palavra de incentivo. E, por fim, à equipe de agentes de organização escolar (os famosos Tios e Tias), especialmente às queridas Janaina, Lucia e Adriana e aos queridos Rodrigo e Osmar, por me ajudarem tanto.

Aos alunos das turmas 3<sup>a</sup> A, 3<sup>a</sup> B, 3<sup>a</sup> C e 3<sup>a</sup> D de 2019 da e EE Leda Guimarães Natal pela gentileza e empenho durante as gravações dos diálogos. Vocês são a alma do trabalho (miseráveis!!!).

Aos professores Ricardo Plaza, por me abrir o horizonte da Física; Marcos Pires Leodoro, por me mostrar o encantamento dos saberes científicos; e a Rebeca Vilas Boas Cardoso de Oliveira, por ter acreditado no meu potencial até mesmo quando eu já não acreditava mais.

Aos meus amigos que compreendem as minhas ausências e torcem por cada passo meu.

Quero agradecer com um carinho especial a minha família por estar presente nas minhas conquistas, as quais estendo a todos vocês. À Guilhermina, minha amada Mãe, por ter se sacrificado tanto para que eu chegasse aqui. Nunca terei palavras ou ações que estejam à altura de tudo que a senhora representa para mim. Ao Antônio, meu verdadeiro Pai, obrigado por me mostrar o que é ser um homem digno e respeitado. Às minhas irmãs Andréia e Adriana por estarem ao meu lado, sempre com uma palavra de amor e carinho. Aos meus Tios e Tias, Primos e Primas, em especial a Edinélia que me inspirou a seguir no magistério e compartilhar desse amor pelo ensino.

Por fim, à Mônica, minha amada esposa e amiga, uma pessoa rara neste mundo e que sempre está ao meu lado e, mesmo sem dizer, apoia-me e comemora as minhas vitórias e, portanto, nossas vitórias. Muito obrigado, eu te amo.

O presente trabalho foi realizado com o apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001.

A vitória não é só minha.... MUITO OBRIGADO A TODOS VOCÊS!!!



“A definição dominante das coisas boas de se dizer e dos temas dignos de interesse é um dos mecanismos ideológicos que fazem com que coisas também muito boas de se dizer não sejam ditas e com que temas não menos dignos de interesse não interessem a ninguém, ou só possam ser tratados de modo envergonhado ou vicioso”.

Pierre Bourdieu

## Resumo

Trabalhos em educação vêm apontando uma defasagem dos conteúdos de Física em relação ao ensino das ciências que atualmente são abordados em sala de aula e no currículo escolar do Ensino Médio. A Física abordada nas escolas, pautada por avaliações externas - em especial o ENEM - e pelos grandes vestibulares tem seus tópicos centrados na Física Clássica, isto é, apenas a física desenvolvida até o final do século XIX. Assim sendo, no presente trabalho, defendemos a inserção de tópicos de física moderna e contemporânea (FMC) no Ensino Médio regular, pois acreditamos que a inserção de Física de Partículas (FP) seja um potencializador ao ensino e à aprendizagem da Física, conectando os alunos às necessidades e desafios da sociedade moderna, despertando, assim, o interesse e motivação dos educandos, visto que estamos lidando com uma ciência de fronteira e com a produção de conhecimento científico. Cientes do desafio que é definir o que seja divulgação científica (DC), buscamos apresentar um conceito de DC que seja livre de imprecisões e ambiguidades, que nos aproxime de um entendimento que satisfaça a complexidade que faz parte do trabalho de divulgar ciência e, portanto, compreendendo-o como o lugar de fronteira entre diferentes mundos. Da mesma maneira, este trabalho fundamentou-se na teoria de aprendizagem por descoberta de Jerome Bruner, apoiado pela definição da divulgação científica como instrumento do ato de ensinar que une os diferentes ambientes sociais (escola e ciência). Nessa perspectiva, desenvolvemos, aplicamos e avaliamos um conjunto de atividades de leitura de textos de divulgação científica a um grupo de alunos da terceira série no Ensino Médio. A análise do conteúdo produzido pelos estudantes pesquisados nos permitiu inferir que os alunos se engajaram em buscar aprender conhecimentos de Física de Partículas em textos de divulgação científica e que as atividades de leitura podem representar uma alternativa viável para abordar tais conteúdos.

Palavras-chave: Divulgação Científica; Ensino de Física; Física de Partículas; Textos.

## **Abstract**

Looking carefully at several pieces of research, we observe discrepancies in the content of Physics in Brazilian high schools taught today as it relates to the development of science. This suggests the need for society to re-evaluate the high school syllabus for these classes. The Physics taught in high schools today are all centered on Classic Physics, that is, the Physics developed until the end of the nineteenth century. We see this based on both external assessments, especially ENEM tests, and on college entrance exams likewise. As such, this paper aims at inserting contents of modern and contemporary Physics in high schools. It is believed the inclusion of Particle Physics will enhance the teaching and learning methods of Physics, enabling to connect them to the needs and challenges from modern society. The result will be an increase in the interest and motivation of students and learners, given that this research deals with a frontier science. The challenge is that one has to define the meaning of Outreach, and this paper seeks to present a concept of scientific awareness. Which is free from imprecisions and ambiguities, which allows us to reach an understanding that fulfills the realms of complexity that are present in the outreach process. This thesis, is based on Jerome Bruner's theory of learning through discovery and is supported by the definition of outreach, bringing together different sociological fields which are interested in scientific production and its knowledge it aims to approach a public not versed but interested in this field with its ideas. To test this theory, third grade students were given a set of activities involving the reading outreach texts. They were then assessed on what they had learned. Analysis of the results inferred that the students who use outreach texts, combined with reading activities, learn more about Particle Physics than those who didn't them, showing they are a good option to teach and learn such contents.

**Keywords:** Outreach, Physics Teaching, Particle Physics; Text.

## Sumário

<b>Apresentação .....</b>	<b>8</b>
<b>Introdução .....</b>	<b>12</b>
<b>Capítulo 1: Do divulgar ao ensinar física de partículas .....</b>	<b>19</b>
1.1 O que se entende por divulgação científica .....	19
1.2 A divulgação científica como fronteira .....	23
1.3 Teoria de aprendizagem .....	25
<b>Capítulo 2: Física de altas energias - plasma de quarks e glúons e o experimento ALICE no Cern.....</b>	<b>29</b>
2.1 O modelo padrão.....	30
2.2 Os constituintes da matéria .....	33
2.2.1 Hádrons, bárions e mésons.....	33
2.2.2 Quarks e Glúons .....	35
2.3 Cromodinâmica quântica (QCD).....	36
2.3.1 Confinamento de cor .....	38
2.3.2 Liberdade assintótica.....	39
2.4 O plasma de quarks e glúons .....	41
2.5 O plasma de quarks e glúons em laboratório: o experimento ALICE no CERN.....	43
<b>Capítulo 3: Metodologia de pesquisa .....</b>	<b>47</b>
3.1 Pesquisa qualitativa.....	47
3.1.1 Pesquisa-ação .....	48
3.2 Coleta de dados.....	48
3.3 Contextualização.....	49
<b>Capítulo 4: Explorando textos de divulgação científica para ensinar física de partículas na sala de aula .....</b>	<b>52</b>
4.1 Critérios de seleção de textos.....	53
4.2 Roteiros .....	55
<b>Capítulo 5: Elaboração e apresentação do produto educacional .</b>	<b>58</b>
5.1 O que é esse roteiro? Qual é a proposta? .....	60
5.1.1 Descrição das etapas das atividades de ensino aprendizagem .....	61
5.2 Uso de TDC para abordar física de partículas baseados em roteiros educacionais.....	63
<b>Capítulo 6: Análise de resultados .....</b>	<b>70</b>
6.1 Pré-análise.....	71

6.2 Exploração do material e tratamento dos resultados .....	72
<b>Considerações finais .....</b>	<b>97</b>
<b>Referências Bibliográficas.....</b>	<b>100</b>
<b>Apêndice A: Produto educacional .....</b>	<b>106</b>

## **Apresentação**

Minha aproximação com o tema divulgação científica sobre física de partículas iniciou-se por ocasião da minha participação, juntamente com um grupo de alunos da escola em que trabalho, da edição brasileira do 14º *International Masterclasses Hands on Particles Physics*, em 2018, no instituto de Física da USP (IFUSP), sobre o experimento Alice do acelerador de partículas LHC (*Large Hadron Collider*). Esse evento é promovido pelo laboratório europeu CERN (Organisation Européenne pour la Recherche Nucléaire), no qual alunos do Ensino Médio de diversos países aprendem sobre Física de Partículas e podem conhecer melhor como os cientistas trabalham nos quatro experimentos do Large Hadron Collider (LHC).

Durante dois dias, os estudantes assistem a palestras com pesquisadores brasileiros a respeito de alguns conceitos fundamentais da Física Nuclear e de Partículas Elementares, que são áreas do conhecimento que analisam a composição mais elementar da matéria. Posteriormente, eles recebem instruções para analisar os dados reais originados nos experimentos por meio de softwares fornecidos pelo próprio CERN e discutem seus resultados ao vivo, por vídeo conferência com outras escolas do mundo inteiro, comandada pelos cientistas no próprio LHC.

Identifiquei nessa iniciativa a possibilidade de aproximar os alunos do Ensino Médio, mesmo que uma pequena parcela dos meus alunos, do cotidiano dos pesquisadores atuantes nesse importante laboratório internacional. Isto é, tem-se nesse evento uma maneira de incentivar os estudantes a ter a ambição de seguir carreiras ligadas à ciência e à tecnologia e dar oportunidade para aqueles que, mesmo não tendo pretensão de seguir esse caminho, possam aprender um pouco sobre física moderna e tecnologia de ponta, num ambiente de cooperação, conversando diretamente com as pessoas envolvidas no maior esforço já feito para alargar as fronteiras da ciência.

Parte das questões abordadas no presente trabalho tem origem em circunstâncias advindas de situações vivenciadas desde o estágio à época da graduação e que ainda se fazem presentes em minha prática letiva. Enquanto professor de Física, percebo que os alunos não se sentem totalmente motivados em se envolver efetivamente nos processos de ensino e aprendizagem.

As situações de aprendizagem parecem não ter sentido para uma parcela importante dos educandos, não produzem prazer em aprender, isto é, não correspondem a um desejo. Os processos de ensino acabam assumindo um caráter burocrático, com aulas expositivas, seguidas de resoluções de exercícios carregados de um tratamento matemático que deverá ser re-

produzido em uma prova ou lista de exercícios. Assim, uma parcela importante dos educandos, ao submeterem-se a um processo avaliativo ou qualquer outra atividade proposta pelo professor<sup>1</sup>, inquietam-se em saber se “vale nota” e qual o seu peso na composição da nota final. Dessa maneira, a avaliação da aprendizagem reveste-se de um caráter quantitativo apenas, ou seja, a nota atribuída ao aluno se sobrepõe ao entendimento de uma avaliação que reflète seu desempenho no processo educativo.

Como identifica Bernard Charlot (2000), esses alunos em “*situação de fracasso*”, que não conseguem acompanhar o desenvolvimento das atividades propostas pelo docente, não desenvolvem certas competências que supostamente deveriam adquirir, e diante de sua “descompetência” reagem com condutas de retração, desordem e hostilidade. E em reação à desordem e a essa hostilidade, muitas vezes os professores e a comunidade escolar em geral acabam por censurar os alunos.

Dentro dessa percepção, aparecem alguns questionamentos internos que inquietam a mim e aos próprios discentes: Por que eu preciso estudar Física? O que vai mudar na minha vida se eu aprender esse conteúdo de Física? Isso indica que os alunos têm uma visão reducionista, em que os conhecimentos apresentados nas aulas de Física devem ter uma utilidade prática, seja no mundo do trabalho ou em seu cotidiano. Podemos elencar uma série de motivos para a constituição desse cenário: a) a não apresentação de uma visão mais global da Física, quer dizer, o ensino dessa disciplina acontece de maneira fragmentada, compartimentando o conhecimento, como se configurassem campos distintos e não se relacionassem (SALEM, 1986); b) a falta de contextualização histórico-cultural da ciência, reconhecendo-a como uma construção humana e que, portanto, está imersa em um contexto cultural, social e político.

Como alternativa a essa fragmentação ou falta de contextualização histórico-cultural da ciência, identificamos que aproximar o saber científico mais atualizado, isto é, a ciência que está sendo produzida em laboratórios científicos, seria como um viés possível de propor um diálogo com o cotidiano do aluno.

Dotado de uma organização social, submetido a um conjunto de regras pré-estabelecidas por um grupo cultural, com valores e interesses singulares e linguagem própria (WATANABE, 2012). Buscando uma alternativa para apresentar um conteúdo pouco trivial

---

<sup>1</sup> Quando digo “professor” não determino o gênero, mas sim o praticante do ato de educar.

como a Física de Partículas, a proposição da leitura de textos de divulgação da ciência dentro da escola, sob o ponto das relações entre diferentes campos, apoiados na linha da sociologia francesa, ancorada nos trabalhos de Pierre Bourdieu (1983).

Com o objetivo de apresentar e discutir uma proposta de prática de ensino de Física, tenho duas inquietações: Em um primeiro plano, os pressupostos em que o professor baseia seu trabalho, ou seja, a noção de currículo, metodologias de ensino-aprendizagem e uma avaliação da aprendizagem que norteie a prática letiva. E, em um segundo plano, as questões objetivas do trabalho docente: nesse sentido podemos discutir as condições de trabalho, carga horária, equipamentos para demonstrações experimentais, entre outros. Confesso ter maior inclinação em discutir os aspectos relacionados ao currículo e à avaliação da aprendizagem e, assim, buscar adquirir repertório para inovar meus métodos e inserir em minhas aulas outras maneiras de exposição e demonstrações de conceitos da Física, que possam auxiliar-me no pensar e no repensar do ensino de Física para propiciar maior entendimento do aluno sobre o assunto estudado, principalmente ao que se refere à Física Contemporânea.

Partindo desse objetivo, o projeto aqui apresentado tem o intento de aprofundar essas questões relacionadas à utilização de textos de divulgação científica em sala de aula, destacando as suas potencialidades de utilização, bem como oferecer possíveis alternativas de ações, por meio da avaliação, que norteiem a escolha das estratégias de ensino/aprendizagem com vistas a desencadear uma aprendizagem efetiva dos conteúdos<sup>2</sup>, para que educador e educando estabeleçam uma relação com o mundo, com o outro e com ele mesmo, de um sujeito confrontado com a necessidade de aprender (CHARLOT, 2000).

Acreditamos que a avaliação da aprendizagem precisa ser compreendida como uma estratégia de ensino, pois não sendo promovida continuamente, integrada, portanto, ao desenvolvimento das aulas, não configura em processo, tornando-se um produto por vezes mais importante administrativamente que pedagogicamente. A qualidade da aprendizagem do aluno parece estar intimamente vinculada a um ensino de qualidade, no qual o aluno torna-se um educando, sujeito de seu processo educativo e reconhece a importância da relação que consegue estabelecer com o saber.

---

<sup>2</sup> Na noção de conteúdo entra a discussão sobre o currículo e seus desdobramentos dentro das perspectivas da BNCC e da matriz curricular do Estado de São Paulo.



Ademais, apresentamos e defendemos a nossa proposta sem a pretensão ou o peso de ser uma resposta definitiva que acudirá o ensino da Física do seu atraso já conhecido, mas que precisa ser entendida como uma dentre muitas possibilidades de se levar o ensino da Física Moderna e Contemporânea para as aulas do Ensino Médio.

## Introdução

A educação é o nosso passaporte para o futuro, pois o amanhã pertence às pessoas que se preparam hoje.

Malcolm X

Muitos trabalhos indicam a necessidade de se remodelar o currículo das escolas de Ensino Médio (EM), pois podemos perceber uma importante defasagem dele em relação ao desenvolvimento da ciência atualmente. Em especial, a Física que é ensinada nas escolas, pautada pelo ENEM e pelos grandes vestibulares, tem seus tópicos centrados na Física Clássica (Mecânica, Termologia, Ótica Geométrica, Ondas e Eletromagnetismo), ou seja, é apresentada apenas a física desenvolvida até o final do século XIX. No entanto, o tratamento de todos os tópicos da física não é palpável, uma vez que o tempo destinado ao ensino desse conteúdo na educação média não é suficiente para dar conta de todos os saberes que estão associados a ele. Nesse contexto, faz-se necessário fazer escolhas que dependem da realidade em que a escola está inserida – restrição de horário, tamanho da turma, etc. – e, primordialmente, de elencar critérios que indiquem quais os fenômenos físicos são mais relevantes nesse mundo contemporâneo e tecnológico. Paralelamente, o professor pode se sentir inseguro em se lançar a qualquer mudança no domínio escolar, bem como pode estar sujeito a um sistema de ensino que dificulta qualquer tipo de inovação, com pouca flexibilidade e com um compromisso exacerbado com resultados nos vestibulares.

Assim, no presente trabalho, defendemos a inserção de temas relacionados à ciência moderna, isto é, que tópicos de física moderna e contemporânea (FMC) façam parte das aulas de física no Ensino Médio, vinculando-os ao mundo moderno. E para tanto, acreditamos que a inserção de física de partículas (FP) cumpra perfeitamente esse papel e fomente uma efetiva aprendizagem, conectando a física às necessidades e desafios da sociedade moderna e, assim, despertem o interesse e motivação dos educandos, visto que estamos lidando com uma ciência de fronteira com uma produção efervescente e, portanto, seguindo uma tendência já anotada por Terrazzan (1994), que aponta um movimento mundial que corrobora a nossa proposta.

Em termos das demais políticas públicas atuais para o ensino dessa Física, observa-se no currículo do Estado de São Paulo uma ementa para o ensino de tópicos de FMC, especialmente no terceiro e quarto bimestre da terceira série do Ensino Médio. Porém, na prática, observa-se uma dedicação excessiva em física clássica, muitas vezes com escolhas equivocadas como aponta Ostermann e Moreira (2001) quando discutem sobre como as escolas do Ensino Médio não desenvolvem, de forma satisfatória, os aspectos conceituais da Física e, assim,

recaem "em uma ênfase excessiva nas fórmulas e em problemas de simples aplicação das mesmas" (OSTERMAN e MOREIRA, 2001, p. 144).

Dialogando com esse debate, acredita-se que, para formar um cidadão protagonista e participativo na sociedade, é necessário proporcionar-lhe acesso a uma educação científica, não apenas no sentido prático do aprendizado escolar, mas também no sentido da física como visão de mundo, como cultura (OSTERMAN e CAVALCANTE, 2001). Nesse sentido, a inserção de textos de divulgação científica (TDC) nos processos de ensino aprendizagem torna-se uma alternativa viável, aproximando os pesquisadores dos nossos educandos no Ensino Médio. Existe uma quantidade importante de trabalhos investigativos na área de ensino de física que apresentam reflexões e propostas de utilização da DC no Ensino Médio (ASSIS e TEIXEIRA, 2003; OSTEMAN e CAVALCANTE, 1998; OSTEMAN E MOREIRA, 2001; SANTIAGO, ARAUJO e NORONHA, 2017; TERRAZZAN e GABANA, 2003; SILVA e ALMEIDA; 1999; RIBEIRO e KAWAMURA, 2006).

Essa perspectiva traz a necessidade de uma reelaboração crítica acerca da prática docente, repensar a abordagem, escolher assuntos em detrimento de outros, propor atividades adequadas e que sejam mais dinâmicas para uma efetiva aprendizagem dos educandos, tornando-os mais críticos e reflexivos diante de problemas sociais que nos cercam (como a fome, geração e uso de energia) com base em conhecimentos que são disseminados na escola. Assim, o presente trabalho busca reconhecer os desafios impostos à complexidade intrínseca de tópicos de FMC e propõe alternativas que visam a garantir a inclusão efetiva de conhecimentos dessa temática no Ensino Médio.

Acreditamos que a razão de ser da ciência, bem como da DC, é gerar conhecimento e este não tem o menor sentido se não integrar o cotidiano das pessoas. Logo, a utilização de TDC's, indo ao encontro dessa concepção, tem a função de popularizar e democratizar o acesso ao conhecimento científico e estabelecer condições para seu entendimento, tendo em vista que esses textos utilizam uma linguagem direta, de forma simples e não tem uma preocupação explícita em ensinar tais saberes (TERRAZZAN e GABANA, 2003), contudo, pode ter impacto importante quando compreendido na colaboração no contexto escolar para uma inclusão da sociedade em debates sobre temas especializados e que podem impactar em seu cotidiano. Watanabe (2012), que entende a divulgação científica como um lugar privilegiado para promover o diálogo entre cientistas e sociedade, aponta que:

(...) a importância de se tornarem públicas as descobertas e avanços científicos não se remete apenas a uma responsabilidade ética e política dos cientistas. Mas, também, a uma necessidade de expansão da cultura científica para uma parcela

efetivamente grande da sociedade, que não reconhece a produção da ciência como um bem econômico, político e social. (WATANABE, 2012, p. 17)

A utilização da DC para promoção da educação científica vai além de assumir a missão de atingir um público mais amplo traduzindo uma linguagem especializada para uma mais leiga, é muito mais amplo que expor os resultados advindos da produção científica e acadêmica. A DC reflete conjuntamente o saber e a produção da ciência, assim o cientista que assume o papel de divulgador da ciência pode se reconhecer como interlocutor do diálogo entre o conhecimento produzido pela ciência e o relacionado a ela (WATANABE, 2012). Não obstante, a nossa preocupação também perpassa em como se dá o acesso ao conhecimento científico e qual a qualidade do conteúdo veiculado pelos canais de comunicação, remetendo-nos à necessidade de problematizar como essas informações são incorporadas pelos aprendizes e como esse conhecimento é utilizado na tomada de decisões em situações cotidianas. Para além da utilização de TDC's, a nossa discussão pretende aproximar professores de tópicos de FMC, especialmente a FP, e apontar caminhos que indiquem que esses tópicos são acessíveis e que podem ser abordados no Ensino Médio.

Pretende-se reconhecer ainda acerca dos modos como podemos compreender essas dificuldades encontradas pelos alunos em suas práticas educativas na escola, sendo, por vezes, desafiador propor ações de inserção de divulgação nas aulas de física que possibilitem ser significativas aos alunos ao mesmo tempo que o professor possa ter subsídios para compreender como os discentes estão entendendo tais ações.

Partindo dessa problemática, situa-se o debate sobre a avaliação da aprendizagem como um tema de grande relevância que tem ocupado um espaço privilegiado nas práticas escolares da atualidade, ainda que pouco nos debates associados à inserção da DC na escola. Temos um sistema de ensino oficial pautado pelas avaliações em larga escala, que tem o intento de apresentar indicadores de desempenho, valendo-se de instrumentos padronizados que consagram uma ordem social em que “o sistema de ensino preenche sob a aparência de uma neutralidade” (BOURDIEU, 2015, p. 218). Entendemos que os processos de ensino aprendizagem envolvem sujeitos possuidores de certo capital cultural, social e econômico que são singulares. Não podemos voltar as nossas atenções somente para os instrumentos e os seus resultados, ou seja, uma prova estandarizada, que preza pela mensuração do desempenho dos alunos em uma perspectiva padronizada, estabelecida de acordo com modelos de sujeito, de aprendizagem, de ensino, idealizados e dados como universais. Essa avaliação padronizada não presta ao seu propósito e resulta por promover a desigualdade e diminuir a qualidade da educação, sendo assim um erro apontar que o êxito ou fracasso de uma política de *accounta-*

*bility*<sup>3</sup> se mede pelo subir de pontos (CASASSUS, 2009, p. 74). Além disso, a prática docente é balizada por estruturas e hierarquias sociais que como aponta Bourdieu (2015):

(...) são, sem dúvida, o lugar privilegiado onde se revelam os princípios organizadores do sistema de ensino no seu conjunto, quer dizer, não somente os procedimentos de seleção dos quais as propriedades do corpo professoral são, entre outras coisas, o produto, mas também a hierarquia verdadeira das propriedades a reproduzir; portanto as “escolhas” fundamentais do sistema reproduzido (BOURDIEU, 2015, p. 208).

Assim, a questão da avaliação também se torna uma preocupação inerente a esse trabalho, pois evoca o desafio de implementar textos de divulgação científica para ensinar física de partículas e, ao mesmo tempo, debater sobre como se reconhece sua viabilidade nesse contexto. Pretendemos embasar nosso debate a partir do que Pierre Bourdieu (2015) chama de estruturas mentais dos agentes (ou taxonomias professorais) e as formas de classificação das estruturas dos sistemas de ensino, no sentido de buscar entender como os professores julgam os alunos, o que julgam, quais critérios e qual a relação que os educandos estabelecem com esses julgamentos e critérios.

Segundo Catani (2009), não é incomum aludir a respeito da avaliação como uma prática dotada de significado único para todos os envolvidos, isto é, o processo de avaliação ganha sentidos diferentes para cada pessoa inserida nesse contexto de avaliação. Isso nos dá um parâmetro a respeito da relevância desse trabalho, pois todos os indivíduos, com algum grau de escolarização, já passaram por algum tipo de medida de desempenho e podem apontar algum tipo de aflição quanto à realização destas. Assim:

Há variados relatos dessas situações na literatura, nos livros de memórias, nas autobiografias e grande número deles enfatiza aspectos de constrangimento, nervosismo e aflição. Do ponto de vista dos alunos, também, nem sempre, as práticas de avaliação servem para aquilo que alguns estudiosos consideram a sua principal função: a de indicar onde é possível ou necessário melhorar. (CATANI e GALLEGOS, 2009, p. 12)

---

<sup>3</sup> O vocabulário *accountability* apresenta significados diversificados na literatura, o nosso entendimento por hora é, segundo Afonso, de uma política de prestação de contas, um “processo de recolha e tratamento de informações e dados diversos, teórica e metodologicamente orientado, no sentido de produzir juízos de valor sobre uma determinada realidade ou situação” (AFONSO, 2009, p. 59).

Existem vários fatores que interferem diretamente no desempenho do aluno em sala de aula (e também fora dela) dificultando uma avaliação de aprendizagem – por exemplo: dificuldade em contextualizar alguns conceitos, defasagem de aprendizagem, rotina de estudos (ou a falta dela), dificuldades e desinteresse pelos conteúdos apresentados em sala, bem como outros fatores inerentes à escola e que não favorecem o desenvolvimento das competências necessárias e sugeridas pelos documentos oficiais. Muitas vezes, o professor não consegue identificar, na sua prática letiva, a incoerência entre o “desempenho esperado” por meio da estratégia de ensino por ele utilizada e o “desempenho apresentado” no instrumento de avaliação dos conteúdos propostos por meio de tal estratégia. Por outro lado, “... o aluno tem de se assumir como um ser (mente num corpo com alma) que observa o mundo e se observa a si, se questiona e procura atribuir sentido aos objetos, aos acontecimentos e às interações.” (ALARCÃO, 2005, p. 26). Sendo assim, o educando deve ser agente no processo avaliativo envolvendo-se inteiramente com as atividades propostas. Dessa forma, questiona-se:

- Como funcionam os processos de avaliação nas aulas de Física?
- Quais são os modos de julgamento dos professores?
- Como se decide se um aluno será reprovado?
- Quais elementos são valorizados no juízo do professor?
- Quais indicadores apontam se um aluno é bem ou mal julgado?

Essas perguntas fazem parte do debate proposto como reflexão final do projeto. Isto, pois, pretende-se compreender como é possível implementar textos de divulgação científica para ensinar física de partículas com objetivos claros de avaliação para melhor compreender as aprendizagens dos alunos.

Em suma, abaixo, apresenta-se um quadro em que se pretende tratar nesse trabalho com as etapas e principais temáticas.

### **Quadro de coerência**

**Pergunta de Pesquisa:** Como se pode utilizar textos de divulgação científica em sala de aula para instigar o estudo sobre os conhecimentos de Física de Partículas?

**Objetivo da Pesquisa:** Introduzir textos de divulgação científica em sala de aula para promover o engajamento de alunos do ensino médio sobre aprender conhecimentos de física de partículas.

**Sujeitos da Pesquisa:** Alunos do ensino médio

### **Etapas da pesquisa**

Pergunta	Atividades	Sujeitos envolvidos	Resultados esperados
Como a área de ensino de física tem percebido a importância da DC para ensinar sobre conhecimentos científicos?	Análise da literatura sobre o tema DC e ensino de física (periódicos, teses, dissertações)	Pesquisador	Elaborar uma organização geral sobre os diferentes modos de utilizar essa temática em sala de aula de física.
Como se pode selecionar os textos de DC diante da diversidade de material disponível?	Elaborar critérios de seleção que envolvam os objetivos do professor e a confiabilidade das fontes.	Pesquisador/Professor	Apresentação de critérios para seleção e lista de sugestões de lugares confiáveis para o professor selecionar seus textos.
Como inserir textos de DC para ensinar conhecimentos de Física de Partículas?	Elaborar atividades em que se trabalhe com textos de DC e como articular com a aprendizagem dos conhecimentos da Física de Partículas.	Alunos e Pesquisador/Professor	Propostas de atividades para o uso de textos de DC na sala de aula para aprendizagem de conhecimentos da Física de Partículas
Como se pode avaliar se os alunos aprenderam através da inserção de textos de DC na sala de aula?	Elaborar propostas de avaliação formativa com alunos do ensino médio para analisar suas aprendizagens.	Aluno e Pesquisador/Professor	Proposta de avaliação da aprendizagem dos alunos utilizando textos de DC.

**Produto:** Produzir roteiros e propostas de atividades para sala de aula em que se utilize textos de divulgação científica para ensinar conhecimentos de Física de Partículas. Em especial, pretende-se elaborar atividades que serão divididas em:

1. Elaboração de lista de sites e revistas de DC confiáveis em termos da veracidade e rigor das informações;
2. Disponibilizar atividades em formato de roteiros e percursos pedagógicos para os alunos e professores utilizarem para a compreensão dos conhecimentos científicos em textos de DC;
3. Criar uma avaliação para que aluno e professor possam analisar suas aprendizagens durante a atividade proposta.
4. Disponibilizar o material com links de sites, revistas, textos e roteiros em espaço público (em análise)

Quadro 1-Utilização do modelo de Quadro de coerência (CASTRO, 2017)

A partir dessa breve introdução, pretendemos nas próximas páginas apresentar os debates sobre divulgação científica e a proposta educacional associada ao presente mestrado. Desse modo, iniciamos o nosso trabalho no primeiro capítulo, **Do Divulgar ao Ensinar Físi-**

**ca de Partículas**, em que oferecemos uma possível delimitação para a comunicação científica e os seus desdobramentos até chegar a uma noção do que é divulgação científica e a sua ação como fronteira entre os diferentes campos e os respectivos agentes envolvidos nessa disputa.

No segundo capítulo, **Física de Altas Energias - Plasma de Quarks e Glúons e o Experimento ALICE no CERN**, procuramos apresentar a física de altas energias, dando especial atenção ao modelo padrão, os constituintes da matéria, a cromodinâmica quântica e o plasma de quarks e glúons. Aqui, a nossa intenção foi dar o devido embasamento teórico para o nosso leitor e possível adepto da prática de ensino aqui proposta.

No Capítulo 3, **Metodologia de Pesquisa**, fazemos um breve relato a respeito da nossa metodologia de pesquisa, seguido de como se deram os procedimentos de coleta de dados e em qual contexto ocorreu a tomada de dados com a aplicação das atividades de leitura.

Já no quarto capítulo, **Explorando textos de divulgação científica para ensinar física de partículas na sala de aula**, fazemos uma exposição da organicidade das atividades de leitura utilizadas para ensinar física de partículas por meio de textos de divulgação científica.

Depois de conceber uma estrutura de trabalho para a utilização dos textos de divulgação científica, no quinto capítulo, **Elaboração e apresentação do produto educacional**, procuramos, empregando os conceitos de análise de conteúdo idealizados por Laurence Bardin, construir e organizar um conjunto de atividades de leitura para ensinar conhecimentos de física de partículas em textos de divulgação científica.

O Capítulo 6, **Análise de resultados**, concebe a apresentação das transcrições dos dados coletados e a posterior análise deles, lançando mão de um aporte teórico para construir e fundamentar a concepção de um produto educacional, que seria um material instrucional de apoio para professores poderem desenvolver atividades de leitura para ensinar Física.

Isso posto, temos a intenção de, nas próximas páginas, explorar a nossa pergunta de pesquisa e trazer à tona a discussão da necessidade de se conceber um ensino de Física mais humanizado e próximo das evoluções científicas e tecnológicas em que os estudantes estão imersos. Com isso, queremos abrir o debate para uma nova prática letiva e encorajar docentes e alunos a utilizarem autonomamente os conhecimentos produzidos por cientistas e divulgadores especializados.

Com efeito, defendemos a nossa proposta sem a pretensão ou o peso de ser uma resposta definitiva que acudirá o ensino da Física do seu atraso já conhecido, mas que precisa ser entendida como uma, dentre muitas, possibilidade de se levar o ensino da Física Moderna e Contemporânea para as aulas do Ensino Médio.



## Capítulo 1: Do divulgar ao ensinar física de partículas

Conhecer não é um ato isolado, individual. Conhecer envolve intercomunicação, intersubjetividade. É por meio dessa intercomunicação mediada pelos objetos a serem conhecidos que os homens mutuamente se educam, intermediados pelo mundo real.

Paulo Freire

A proposição de um trabalho de inserção de textos de divulgação científica (DC) no ensino de Física nos apresenta um primeiro desafio: definir o que é divulgação científica. Tal empreitada se justifica pela busca de um conceito que seja livre de imprecisões e ambiguidades, que nos aproxime de um entendimento que satisfaça a complexidade que fazem parte do trabalho de divulgar ciência (WATANABE, 2015).

### 1.1 O que se entende por divulgação científica

A todo momento, recebemos algum tipo de notícia, em diferentes tipos de textos e linguagens, a respeito de alguma descoberta científica recente, nos meios mais diversos de produção de ciência, utilizando as mídias e trazendo informações atuais como, por exemplo, uma nova vacina, uma missão exploratória a um planeta vizinho ou até mesmo uma campanha publicitária alertando sobre o reaparecimento de uma doença há tempos erradicada. Ou seja, existe uma grande variedade de textos, o que nos remete à complexidade do que podemos considerar como sendo um material de divulgação científica (DC), bem como a sua legitimidade, o que nos aponta para uma reflexão das implicações que cercam as diferentes maneiras de difundir ciência em seus respectivos espaços e atores. Assim, não temos um único conceito que compreenda toda essa diversidade, que demarque "o que é" e "o que não é" a DC, a literatura brasileira pouco tem contribuído para o refinamento de conceitos que dão embasamento à teoria e à prática da DC, o que impede uma delimitação de seus limites e sua abrangência (BUENO, 2010).

Ao levarmos textos com temas científicos para o ensino de física, percebemos que existem dois meios de difundir informações em ciência: a comunicação científica e a divulgação científica. Cada um com suas especificidades próprias, mas que se articulam “em um território comum: processos, estratégias, técnicas e mecanismos de veiculação de fatos e de informação que se situam no universo da ciência, da tecnologia e da inovação” (BUENO, 2009, p. 158).

Em primeira instância, podemos incorrer no erro em afirmar que são duas concepções que compartilham as mesmas definições para um mesmo objeto. No entanto, vigora uma relação de complementariedade entre a comunicação e a divulgação científica, ou seja, existe uma relação estreita entre eles. Segundo Bueno (2010):

A divulgação científica compreende a “[...] utilização de recursos, técnicas, processos e produtos (veículos ou canais) para a veiculação de informações científicas, tecnológicas ou associadas a inovações ao público leigo” (BUENO, 2009, p.162). A comunicação científica, por sua vez, diz respeito à transferência de informações científicas, tecnológicas ou associadas a inovações e que se destinam aos especialistas em determinadas áreas do conhecimento. (BUENO, 2010, p. 2).

Nessa perspectiva, ainda segundo Bueno (2010), podemos perceber que comunicação e divulgação científicas diferem, essencialmente: **em sua prática** (perfil do público), **na sua construção** (nível do discurso), **o caráter dos meios** utilizados para a sua veiculação e, principalmente, as **intenções explícitas ou implícitas** de cada processo em particular.

A comunicação científica tem um discurso rebuscado e não abre mão da linguagem técnica, pois crê que o seu público possui capital cultural suficiente para compreender o jargão técnico e científico apresentado, pessoas que têm familiaridade com o tema e entendem os seus processos de produção contínuos e refinados ao longo do tempo; assim, a comunicação científica busca legitimação do conhecimento científico e os seus avanços. Podemos perceber que a comunicação admite dois níveis: a) “comunicação intrapares” e b) “comunicação extrapares” (BUENO, 2009, p. 160).

Segundo Bueno (2009), a comunicação intrapares não faz concessões quanto ao nível do discurso, pois é um locutor de informações científicas para um público interlocutor que partilha de um mesmo conceito fechado, de um linguajar repleto de termos técnicos que constituem um universo comum, isto é, direcionado para especialistas de uma área específica ou correlata. A comunicação científica extrapares dissemina informações científicas que têm como público alvo prioritário pessoas que, tendo formação e/ou atuação em especialidades diversas da área comunicada, compreendem tanto o conceito quanto o léxico utilizado, apresentando um conteúdo mais abrangente e que, em uma perspectiva multidisciplinar, dissemina ciência para diferentes especialistas.

Já a divulgação científica, por outro lado, atende à demanda de um público leigo, que não tem formação específica e ao qual não é permitido entender que a ciência não é uma construção que progride aos saltos e desenvolvida por mentes privilegiadas, mas que reconhecem a ciência como uma atividade importante para a sociedade entender o mundo em que vive e, nesse sentido, precisam apropriar-se das novas descobertas científicas. O conteúdo

objeto da divulgação precisa passar por uma recodificação dos termos e jargões técnicos, assim, segundo Bueno (2009):

É importante perceber que a divulgação científica pressupõe um processo de recodificação, isto é, a transposição de uma linguagem especializada para uma linguagem não especializada, com o objetivo primordial de tornar o conteúdo acessível a uma vasta audiência. (BUENO, 2009, p. 162)

Nessa dicotomia, comunicação versus divulgação, podemos apontar um ponto de convergência de ideias e intenções que é a busca pela veiculação da produção científica, segmentando, a partir do nível instrucional do público alvo, a disseminação da ciência.

Reconhecer as aproximações e rupturas conceituais, com suas respectivas implicações práticas, entre os conceitos de comunicação científica e divulgação científica contribui para a exata definição de veículos e ambientes para sua expressão. Ignorá-las implica continuar incorrendo em equívocos importantes e que, no Brasil, respondem pela exclusão da divulgação científica na elaboração de políticas públicas voltadas para a alfabetização científica e democratização do conhecimento científico. (BUENO, 2010, p. 9)

A divulgação científica também pode ser entendida como promotora de uma cultura da ciência na perspectiva de Carlos Vogt (2003), que propõe a compreensão da cultura científica como uma atividade dinâmica, que pode ser visualizada na forma de um espiral. Nessa proposição, representa-se a promoção de uma cultura científica evoluindo em duas dimensões: tempo e espaço, nas quais são definidas as quatro categorias (quadrantes) e os principais atores em cada um dos quadrantes, que são caracterizados por um conjunto de elementos.

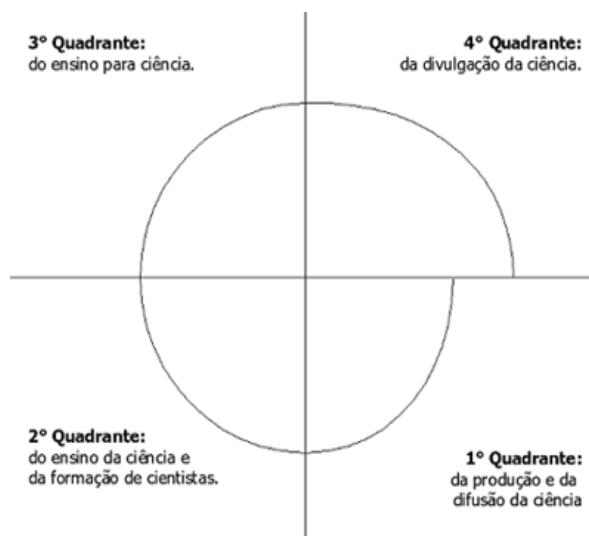


Figura 1.1 - Espiral da Cultura Científica (VOGT, 2003)

A mudança entre uma categoria e outra se dá de forma dinâmica e num movimento espiral contínuo, o que contribui para entender o processo de desenvolvimento de uma cultura

científica voltada para a produção e socialização da ciência, que não pode ficar restrita a pequenos grupos sociais, assim:

[...] no primeiro quadrante, teríamos como destinadores e destinatários da ciência os próprios cientistas; no segundo, como destinadores, cientistas e professores, e como destinatários, os estudantes; no terceiro, cientistas, professores, diretores de museus, animadores culturais da ciência seriam os destinadores, sendo destinatários, os estudantes e, mais amplamente, o público jovem; no quarto quadrante, jornalistas e cientistas seriam os destinadores e os destinatários seriam constituídos pela sociedade em geral e, de modo mais específico, pela sociedade organizada em suas diferentes instituições, inclusive, e principalmente, as da sociedade civil, o que tornaria o cidadão o destinatário principal dessa interlocução da cultura científica. (LORDÊLO e PORTO, 2012, p. 26).

Desse modo, além dos atores, esse espiral depende dos espaços destinados a eles.

[...] teríamos no primeiro quadrante, com seus respectivos papéis, as universidades, os centros de pesquisa, os órgãos governamentais, as agências de fomento, os congressos, as revistas científicas; no segundo, acumulando funções, outra vez as universidades, o sistema de ensino fundamental e médio, o sistema de pós-graduação; no terceiro, os museus e as feiras de ciência; no quarto, as revistas de divulgação científica, as páginas e editoriais dos jornais voltadas para o tema, os programas de televisão etc. (VOGT, 2011, p. 11)

Progressivamente, ao cumprir o ciclo de evolução da espiral da cultura científica, voltando ao ponto de início, porém não é um reinício, mas um *continuum*, um novo ciclo que ressignifica a participação dos atores envolvidos em cada um dos momentos de sua evolução, um encadeamento de ações pela e para a expansão natural da participação social e a construção das relações entre cultura e ciência (VOGT, 2011). E cremos justamente na importância da divulgação científica como um pilar para construção e disseminação da cultura científica, assim, acreditamos que seria possível acrescentar o Ensino Fundamental II e o Ensino Médio ao terceiro quadrante do diagrama proposto por Vogt enquanto espaço para a divulgação científica. Com características singulares, quando tratamos da produção do conhecimento científico, a prática da ciência tem como objetivo principal o acesso “aos meios e aos resultados da produção científica, cultural e pedagógica” (LORDÊLO e PORTO, 2012, p. 27). Isto é, não pode ser condicionada apenas como um canal de veiculação do conhecimento produzido pela ciência em um determinado meio social. Assim, a aquisição dos saberes conceituais não é um aspecto central do desenvolvimento de uma cultura científica, mas que faz parte desse processo de desenvolvimento reflexivo social e científico dos agentes sociais, em especial os estudantes, para que estes consigam ampliar a própria noção do ato de aprender (WATANABE, 2015).

## 1.2 A divulgação científica como fronteira

Partindo desse debate, neste trabalho, pretendemos discutir a divulgação científica como um lugar de trabalho coletivo, instituído por diferentes atores sociais que, imbuídos do desejo de apresentar a ciência ao público, elaboram suas práticas na junção de diferentes espaços sociais. Nesse sentido, iremos propor compreender a divulgação científica como fronteira. Watanabe (2015) aponta que compreender a DC como fronteira implica entendermos que seu papel é aproximar diferentes mundos (ciência, jornalismo, escola) para construir novos significados. Assim, ao pensar a DC como fronteira, pretende-se reconhecer que a escola pode utilizar os textos de divulgação científica para melhor adequar suas práticas, mudando, assim, as intencionalidades dos materiais e os adequando a sua realidade.

É a respeito da ideia produzida na perspectiva bourdieusiana que a autora (WATANABE, 2015) trabalha sobre o conceito de campo que tem sido empregado para entender a aproximação entre o espaço social da ciência e da escola. Essa noção de campo pelo entendimento do espaço social como o lugar da concorrência serve de ambiente para a construção de relações de dominação e das práticas no jogo social. Dessa forma, um campo se define por meio da noção dos seus objetos de disputa e, invariavelmente, dos interesses específicos dos agentes pertencentes a um determinado campo, sendo estes irredutíveis aos objetos de disputas e aos interesses próprios de agentes de outros campos, isto é, não se teria êxito em motivar um historiador com questões próprias dos físicos, faltar-lhe-á a percepção, o traquejo, pois não possui formação adequada para adentrar esse campo. Um campo só funcionará quando existir objetos de disputa e agentes prontos para disputar o jogo, detentores de *habitus* que impliquem no conhecimento e no reconhecimento das leis que regem o campo de jogo, dos objetos de disputa, etc.

Assim, cada lugar de luta corresponde, desse modo, a algum campo específico (científico, cultural, econômico, educacional, jornalístico, etc.), no qual as posições sociais dos agentes são determinadas pelas suas “relações de força e monopólio, suas lutas e estratégias, seus interesses e lucros” (BOURDIEU, 1983, p. 123). Temos, portanto, o entendimento de que a divulgação científica é o encontro, a junção entre dois mundos, tendo de um lado o campo científico e do outro os "outros" campos, tendo os agentes um *habitus* que reflete as suas posições de dominador e de dominado dentro do campo, ou seja, é na dúvida, no embate entre os campos que a DC encontra sentido de ser (WATANABE, 2015).

Na perspectiva de Watanabe (2015), entendemos que a DC pode ser aludida como fronteira no prisma das ciências humanas. Ainda segundo a autora, e trazendo para o cerne da

nossa discussão, podemos reconhecer na fronteira um lugar que une a produção de ciência básica e o público escolar, com um entendimento dos diferentes níveis de discurso e de intencionalidades de seus agentes pertencentes de dois campos com características singulares.

A fronteira, portanto, é reconhecida como um lugar de disputas entre os seus atores, em que um grupo reconhece a importância do outro e de si mesmo, a partir do diálogo, das imposições e das negociações durante os conflitos. Isso posto, a fronteira se coloca como um espaço de encontro e não se limita a se apresentar como uma linha de separação entre dois lados concorrentes que coabitam, mas que reconhecem os seus limites.

Para Martins, o conflito entre os agentes de cada campo desenvolve um papel superlativo para a relação entre esses grupos, em que não existiria fronteira sem os embates.

A fronteira só deixa de existir quando o conflito desaparece, quando os tempos se fundem, quando a alteridade original e mortal dá lugar à alteridade política, quando o outro se torna a parte antagônica de nós. Quando a História passa a ser a nossa História, a História da nossa diversidade e pluralidade, e nós já não somos nós mesmos porque somos antropologicamente nós e o outro que devoramos e nos devorou. (MARTINS *apud* WATANABE, 2015, p. 70)

E é na divulgação científica que reconhecemos a personificação de uma fronteira, que abre espaço para uma sinergia entre a produção científica e os saberes escolares e não é vista apenas como mediadora. Em vista disso, a DC como fronteira está em constante reconfiguração, negociando, articulando e engajando os atores para um pensamento reflexivo a respeito dos temas de interesse (WATANABE, 2015).

[...] no encontro entre dois mundos, dois lugares, em que um sempre é o campo científico e que na fronteira com outros campos, dos embates, da dúvida, do questionamento é que surge, como um de seus produtos, a divulgação científica. E por tal motivo que ela não encontra definição específica, um campo em que possa encontrar sentido, um saber teórico que a institua única. A divulgação não sabe ser outra senão no encontro com o outro, na dúvida que nasce da junção entre dois mundos. (WATANABE, 2015, p. 87)

Desse modo, a divulgação científica, enquanto fronteira, aproxima os diferentes campos envolvidos no jogo em que a DC se estabelece.

No presente trabalho, de alguma maneira, temos a pretensão de apresentar a nossa percepção a respeito da utilização de textos de divulgação científica para o ensino de física de partículas. E, desse modo, partimos do entendimento da DC como fronteira, não como limite a ser transposto, mas como espaço de diálogo entre os campos científico e escolar, bem como a superação dos interesses e das relações de poder entre os campos (WATANABE, 2015). Podemos, portanto, levantar a seguinte questão: “Qual o papel da divulgação científica para

construir o engajamento dos alunos na busca pelo conhecimento de física de partículas a ser abordado?”

Assim, existe a percepção de certa aversão por parte de alguns cientistas em dialogar com o público leigo. Existem estudos que apontam essa desconexão entre os agentes científicos e o público não especializado, o que evidencia um baixo número de divulgadores, talvez por faltar a estes a percepção em atender e compreender a singularidade das demandas dos interessados em assuntos científicos; por outro lado, podemos atribuir a dificuldade em alinhar o nível do discurso com o público leigo (WATANABE e KAWAMURA, 2017). Essa barreira imaginária entre os cientistas que estão envolvidos com a produção de uma determinada ciência de fronteira e o público precisa ser rompida, precisamos aproximar os diferentes agentes desse campo a fim de se fomentar novas atitudes, novas práticas que tornem acessíveis o entendimento de assuntos complexos e não triviais para a sociedade dita leiga.

Nos tempos atuais, os laboratórios que possuem aceleradores de partículas, em especial o CERN com o LHC, recebem boa parte da atenção dos meios de comunicação (de diferentes mídias), sendo especializados ou não. E é justamente a partir desse excesso de atenção que temos o reforço de alguns estereótipos, em que a produção científica é feita por pessoas extraordinárias, dotadas de uma aura quase divina, dada a polidez dos termos utilizados na DC, bem como a “dificuldade de tratar um referencial teórico de modo mais explícito nas produções científicas [...]” (WATANABE, 2015, p. 68).

### **1.3 Teoria de aprendizagem**

Acreditamos que a divulgação científica produzida na fronteira entre o campo científico e espaço escolar exerce uma influência importante sobre a atualização do currículo de Física na educação básica no Brasil, tendo em vista as implicações nos contextos tecnológicos, ambientais, sociais, políticos e econômicos. E um dos caminhos a ser explorado é a efetiva inserção da Física Moderna e Contemporânea a partir da Física de Partículas no currículo do Ensino Médio, que traz consigo a dificuldade de aproximação entre as pesquisas produzidas nos grandes centros e a sua abordagem em sala de aula.

Ensinar Física de Partículas não é nada fácil, os conceitos atrelados a esse campo do conhecimento não são intuitivos e, em geral, não encontramos analogias clássicas. Nesse sentido, preocupados com essa temática, a nossa proposta de atividades de ensino e aprendizagem para ensinar conhecimentos de Física de Partículas para o Ensino Médio apresenta uma abordagem fundamentada nos preceitos de Jerome Bruner, importante psicólogo norte americano, opõem-se aos behavioristas e propõe uma psicologia da aprendizagem que parte do

pressuposto de que a mente é criadora de significados e busca compreender a interação por meio da qual a mente constitui e é constituída pela cultura. Assim, a aprendizagem ocorre pela descoberta, de maneira dirigida, interessada na ação do sujeito, ou seja, na forma em que o indivíduo produz significado a um sistema simbólico-cultural (MOREIRA, 2011).

Para Bruner “é possível ensinar qualquer assunto, de uma maneira honesta, a qualquer criança em qualquer estágio de desenvolvimento” (MOREIRA, 2011, p. 81). No entanto, deve-se levar em conta os diferentes momentos do desenvolvimento intelectual, respeitando as particularidades e demandas de aprendizagem de cada momento da vida de um ser humano. Dessa forma, o escopo de conceitos a serem desenvolvidos estariam dispostos em forma de espiral, um processo de descobertas, por meio da exploração de alternativas, em que este cumpra a tarefa de facilitar e ordenar os processos de ensino aprendizagem. Desse modo, o educando deve ter a oportunidade de ter o mesmo conteúdo em mais de uma ocasião, sempre com um nível de profundidade maior que o da abordagem anterior e a partir de uma nova maneira de representar aquele assunto o indivíduo visualiza o mundo e explica-o a si mesmo (OSTERMANN e CAVALCANTI, 2011).

Os conteúdos de ensino devem ser percebidos pelo aprendiz em termos de problemas, relações e lacunas que ele deve preencher, a fim de que a aprendizagem seja considerada significativa e relevante. Assim, as alternativas devem ter estágios: ativação, na qual se inicia a exploração; manutenção, que é, justamente, trabalhar fortemente o acerto em detrimento dos erros; e a direção, o educando deve ter clareza dos objetivos de determinada tarefa a ser realizada. No entanto, essa exploração e resolução de problemas por parte do aluno deve ser dirigida. Assim, segundo Bruner:

“A condição básica para ativar a exploração de alternativas, em uma tarefa, é ter um nível ótimo de incerteza. Curiosidade é uma resposta à incerteza e à ambiguidade. Rotinas esclerosadas provocam pouca ou nenhuma exploração; rotinas por demais incertas despertam confusão e angústia, reduzindo a tendência a explorar. Uma vez iniciada a exploração, sua manutenção exige que os benefícios das alternativas exploradas excedam os riscos envolvidos. Aprender qualquer coisa com auxílio de um instrutor, desde que o ensino seja eficiente, deverá implicar menos perigo ou sacrifício que fazê-lo por conta própria, ou seja, as consequências erros, ao explorar falsas alternativas, devem ser abrandadas em um regime de instrução, e os resultados a obter, nas alternativas corretas, correspondentemente aumentados.

Dar direção consciente à exploração baseia-se em duas considerações interdependentes: o sentido da meta de uma tarefa e o conhecimento da importância de verificar as alternativas para atingir tal meta. Para dar direção à exploração, em resumo, o objetivo da tarefa precisa ser conhecido, com alguma aproximação, e a verificação das alternativas devesse sempre informar a posição com referência ao citado objetivo.” (MOREIRA, 2011, p. 86)



Para tanto, esse conjunto de conteúdos deve estar organizado em uma estrutura, ideias e relações fundamentais em termos da visualização que a criança tem das coisas, ou seja, uma estrutura que esteja atrelada ao estágio de aprendizagem do educando. Pensando o desenvolvimento intelectual de um indivíduo, Bruner afirma que “ensinar é, em síntese, um esforço para moldar o desenvolvimento” e uma teoria de ensino aborda as diferentes maneiras de auxiliar o desenvolvimento (MOREIRA, 2011, p. 82). A natureza do desenvolvimento intelectual se caracteriza, principalmente, pelo aumento da independência do indivíduo frente aos estímulos, à crescente capacidade de lidar com diferentes estímulos simultaneamente e a armazenagem ocorre de acordo com o ambiente em que ele esteja inserido. Indo ao encontro das proposições de Piaget, Bruner sugere que o desenvolvimento ocorre em três estágios de desenvolvimento e representação do mundo (MOREIRA, 2011):

- **representação ativa**, é a etapa em que a criança está em idade pré-escolar, o indivíduo age sobre o mundo estabelecendo conexões entre as experiências e a ação;
- **representação icônica**, com a criança já na escola, o desenvolvimento se dá por meio da manipulação direta ou mental de objetos e símbolos, podemos entender como uma espécie de interiorização das ações e já visando a possíveis respostas aos problemas propostos;
- **a representação simbólica** seria a capacidade que a criança adquire quando ela passa a ser capaz de elaborar hipóteses diante da realidade por meio de uma linguagem simbólica, de caráter abstrato e sem uma dependência direta da realidade.

No ideário de Bruner, o “processamento e representação de informação” (MOREIRA, 2011) pelo qual os indivíduos passam não são constituídos de “estágios”, mas de fases de desenvolvimento subsequentes e que não se substituem, pois em um dado momento de nossas vidas podemos persistir em representar informações tanto ativa, icônica quanto simbolicamente.

A teoria de aprendizagem por descoberta afirma que os processos de aprendizagem só se tornam efetivos a partir de quatro aspectos:

- 1) **Motivação**: Os alunos devem ter uma predisposição para a aprendizagem, ou seja, o professor, no papel de mediador e guia das ações propostas, sem expor os conteúdos de maneira explícita, deve motivar os aprendizes para que eles estabeleçam relações entre os conceitos aprendidos e que tenham autonomia para construir as próprias conjecturas apoiados em um diálogo com seu pares e com o professor.

2) Estrutura: A forma como os conjuntos de conhecimentos são organizados, o êxito das atividades de aprendizagem depende fortemente de como as ações são planejadas para favorecer o aprendizado da melhor forma possível. O professor deve gerar condições e fornecer todas as ferramentas necessárias para que os educandos busquem, por si sós, quais as metas a serem alcançadas. Desse modo, Bruner aponta três características primordiais para a estrutura favorecer as habilidades dos educandos para compreenderem o conteúdo (MOREIRA, 2011):

- Forma da apresentação utilizada: ou seja, deve levar em consideração o desenvolvimento intelectual, como já apresentado, a representação ativa, icônica e simbólica, a fim de não perder o interesse do estudante;
- Economia: o conteúdo deve ser apresentado na quantidade adequada, evitando o “detalhismo” que pode confundir os educandos;
- Potência efetiva: o professor deve prezar pela simplicidade da abordagem do assunto pretendido, beneficiando a aprendizagem.

3) Sequência: o processo da sequência das ações que serão desenvolvidas deve ser criteriosamente planejado. Segundo Moreira (2011), deve-se considerar os estágios de desenvolvimento (fase ativa, icônica e simbólica), a natureza do conteúdo proposto e a adequação aos níveis de aprendizagem dos alunos, levando-se em conta a inserção de certo nível de incerteza para que algumas alternativas possam ser exploradas.

4) Reforçamento: aqui, o entendimento é que a aprendizagem carece reforço, ou seja, a aplicação de prêmios e punições durante os processos de ensino e aprendizagem. Com uma noção diferente da abordagem behaviorista, que enxerga a aprendizagem como a consequência das recompensas e punições, Bruner defende que:

“[...] a aprendizagem depende do conhecimento de resultados, no momento no local em que ele pode ser utilizado para correção. A instrução aumenta a oportunidade do conhecimento corretivo. O conhecimento dos resultados terá utilidade ou não, conforme receba o estudante, em tempo e local apropriados, a informação corretiva, explicadas as condições em que podem usá-la, e da forma em que a recebe [...]” (MOREIRA, 2011, p. 90)

Assim, o processo é que deve ser reforçado, indicando ao estudante a sua evolução e o que deve ser corrigido até que ele seja autônomo a ponto de se “auto-reforçar”.

No próximo capítulo, apresentamos um aporte teórico a respeito da física de partículas, especialmente o Plasma de Quarks e Glúons. A nossa intenção é subsidiar o leitor para traçar um paralelo entre os TDC indicados e os conteúdos abordados neles.

## Capítulo 2: Física de altas energias - plasma de quarks e glúons e o experimento ALICE no CERN

A missanga<sup>4</sup>, todas a veem.  
Ninguém nota o fio, que em colar vistoso, vai  
compondo as missangas.  
Também assim é a voz do poeta: um fio de silêncio  
costurando o tempo.

MIA COUTO

Neste capítulo, pretende-se discutir alguns conceitos sobre física de partículas de modo a contextualizar as atividades e o produto educacional que se seguem. Em especial, pretende-se debater sobre o plasma de quarks e glúons, compreendido no contexto dos estudos de física de altas energias, como a constituição da matéria, milissegundos depois do Big Bang.

Em resumo, instantes após o Big Bang, o universo era formado por uma mistura extremamente quente e densa, composta por todos os tipos de partículas que se moviam com velocidades próximas à da luz. Essa “sopa” era composta por quarks, que são partículas fundamentais da matéria, e por glúons, que são partículas intermediadoras da força forte entre os quarks e assim temos os constituintes dos prótons e nêutrons. Denominamos essa “sopa” de plasma de quarks e glúons (também conhecida pela sigla em inglês QGP). Naqueles primeiros microssegundos, logo depois do Big Bang, com temperaturas extremas, os quarks e os glúons estavam ligados apenas fracamente, livres para se movimentarem sozinhos nesse plasma. (CERN, 2018)

Aprender mais sobre esse plasma é poder descobrir muitos enigmas referentes à evolução do nosso universo e à estrutura da matéria conhecida. Neste capítulo vamos tentar compreender o QGP, isto é entender as partículas que o formam e como elas interagem. E, posteriormente, discutiremos como podemos obter o QGP em laboratório e onde ele existe na natureza.

---

<sup>4</sup> Grafia em português europeu, no Brasil, a grafia da palavra é “miçanga”.

## 2.1 O modelo padrão

Segundo Thomson (THOMSON, 2013), a física de partículas é muito relevante para a nossa compreensão das leis da natureza. Ela se ocupa em estudar os constituintes fundamentais do Universo, as partículas fundamentais, que são governadas por interações (ou acoplamentos) também fundamentais (figura 2.1), a saber: forte, eletromagnética, fraca e gravitacional. “As três primeiras são descritas pelo modelo padrão e a última pela teoria da relatividade geral” (LIMA, 2017, p. 1).

### Propriedades de interação

As intensidades das interações (forças) são mostradas em relação à intensidade da força eletromagnética de dois quarks  $u$  separados pelas distâncias específicas.

Propriedade	Interação gravitacional	Interação fraca (Eletrofraca)	Interação eletromagnética	Interação forte
Atua sobre:	Massa - Energia	Sabor	Carga elétrica	Carga cor
Partículas sujeitas:	Todas	Quarks, Léptons	Eletricamente carregada	Quarks, Glúons
Partículas mediadoras:	Gráviton (ainda não observada)	$W^+ W^- Z^0$	$\gamma$	Glúons
Intensidade a $\left\{ \begin{array}{l} 10^{-18} \text{ m} \\ 3 \times 10^{-17} \text{ m} \end{array} \right.$	$10^{-41}$ $10^{-41}$	0.8 $10^{-4}$	1 1	25 60

Figura 2.1 - As forças do modelo padrão. Fonte:

<https://www.ifi.unicamp.br/~fauth/3RadioatividadeeParticulas/2QuarksLeptonseMediadoras/Quarksleptonsemediadoras.html>

A figura 2.2 apresenta um mapa conceitual, representando uma possível organização das classificações das partículas e suas relações.

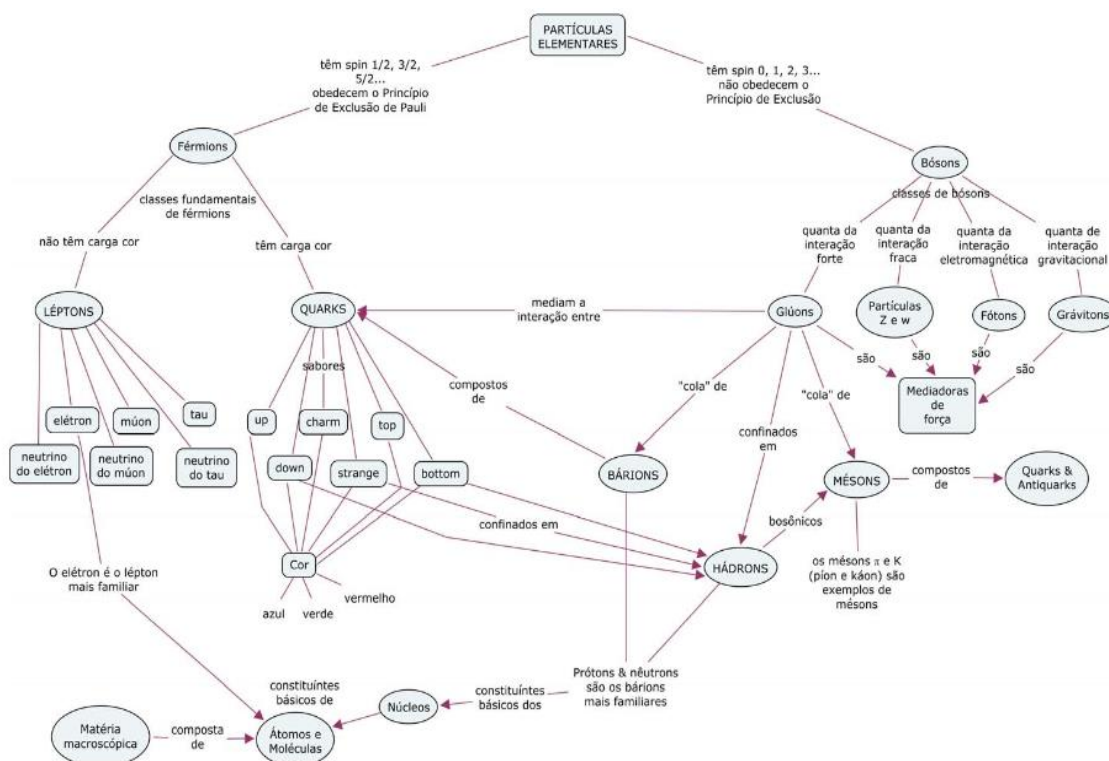


Figura 2.2 - Mapa conceitual sobre partículas elementares. (MOREIRA, 2004, p. 10)

Desenvolvido ao longo do século XX, o Modelo Padrão (ou Standard Model) da física de partículas se preocupa em estudar os constituintes fundamentais do Universo. As partículas elementares e as interações entre elas são tema, apresentando uma visão unificada, no qual as forças fundamentais entre as partículas são descritas pela troca de partículas subatômicas, fornecendo uma descrição adequada das propriedades e interações de partículas elementares (THOMSON, 2013). Para Kane (2003),

[...] o Modelo Padrão é, na história, a mais sofisticada teoria matemática sobre a natureza. Apesar da palavra “modelo” em seu nome, o Modelo Padrão é uma teoria compreensiva que identifica as partículas básicas e especifica como interagem. Tudo o que acontece em nosso mundo (exceto os efeitos da gravidade) resulta das partículas do Modelo Padrão interagindo de acordo com suas regras e equações. (KANE, 2003, p. 58 *apud* MOREIRA, 2009, p. 1)

Notadamente, o Modelo Padrão apresenta uma descrição bem-sucedida de resultados experimentais atuais, prevendo uma grande variedade de fenômenos. Com o tempo e por meio de muitos experimentos, o Modelo Padrão se estabeleceu como uma sofisticada teoria física bem testada e representa um dos triunfos da física moderna e contemporânea.

No Modelo Padrão, classificamos partículas fundamentais, isto é, que não possuem uma estrutura interna (não possuem uma subdivisão) em dois grupos: os **férmions (spin semi-inteiro)** e os **bósons (spin inteiro)**.

- Os **férmions**: são partículas que constituem a matéria e obedecem à estatística de Fermi-Dirac e seguem o princípio de exclusão de Pauli, em que um estado quântico não pode ser compartilhado por férmions idênticos, isto é, não pode ter os mesmos números quânticos, assim a função de onda total do sistema é antissimétrica em relação à permutação de um par qualquer de partículas (CHUNG, 2001).

Os graus de liberdade são um grupo de números quânticos que caracterizam os férmions, permitindo-nos distinguir um conjunto de partículas que compartilham as mesmas propriedades: como a carga elétrica, o spin, o tipo de interação, etc. Esses graus de liberdade definem então o tipo da partícula, em inglês *particle flavour*, muitas vezes traduzido como “sabor<sup>5</sup>”. Desse modo, o *sabor* nos permite diferenciar os quarks e os léptons, que são

---

<sup>5</sup> Essa tradução é um tanto quanto equivocada, pois a tradução para “particle flavour” seria tipo de partícula e não sabor de partícula.

subfamílias dos férmions (LIMA, 2017). Os férmions são subdivididos em seis léptons e seis quarks.

- i. Léptons: *elétron* ( $e$ ) e seu *neutrino* ( $\nu_e$ ), *múon* ( $\mu$ ) e o seu *neutrino* ( $\nu_\mu$ ), *tau* ( $\tau$ ) e o seu *neutrino* ( $\nu_\tau$ ).
- ii. Quarks: *up* ( $u$ ), *down* ( $d$ ), *charm* ( $c$ ), *strange* ( $s$ ), *top* ( $t$ ) e *bottom* ( $b$ ).

- Os **bósons**: são as partículas responsáveis por transmitirem as interações entre os férmions. São eles os mediadores das quatro interações fundamentais: a força eletromagnética, a força nuclear forte, a força nuclear fraca e a força gravitacional. Os bósons obedecem à estatística de Bose-Einstein, não obedecem ao princípio de exclusão de Pauli, assim bósons idênticos podem compartilhar do mesmo estado quântico, isto é, a função de onda total do sistema é simétrica em relação à permutação de um par qualquer de partículas (CHUNG, 2001).

Segundo o modelo padrão, as forças fundamentais da natureza “apresentam uma origem bosônica.” (MARTINS, 2001, p. 283):

- i. Os fótons são partículas de luz e mediam a interação eletromagnética;
- ii. Os glúons mediam a interação nuclear forte responsável pela interação entre os quarks;
- iii. Os bósons  $W^+$ ,  $W^-$  e  $Z^0$  mediam a interação nuclear fraca e são responsáveis pelo decaimento<sup>6</sup> nuclear  $\beta$  e pela fusão nuclear (THOMSON, 2013);
- iv. Os grávitons<sup>7</sup> são os responsáveis pela mediação da interação gravitacional.

Assim, podemos reunir na figura 2.3 as partículas elementares já detectadas, considerando os quarks (que são os constituintes do núcleo atômico), os léptons e os bósons que são

---

<sup>6</sup> O decaimento ou desintegração é a transformação pela qual um núcleo instável passa mediante a emissão simultânea de um elétron ou um pósitron e um neutrino ou antineutrino. Desse modo, o número de prótons e nêutrons sofre uma alteração sem mudar o número total de nucleons (núcleo isóbaros), mas ocorre a mudança do elemento químico (CHUNG, 2001).

<sup>7</sup> Atualmente, o gráviton é uma partícula mediadora hipotética, isto é, não se encontrou nenhuma evidência experimental a respeito de sua existência.

partículas mediadoras das quatro forças fundamentais mais o bóson de Higgs que explica como as partículas elementares ganham massa no chamado Campo de Higgs.

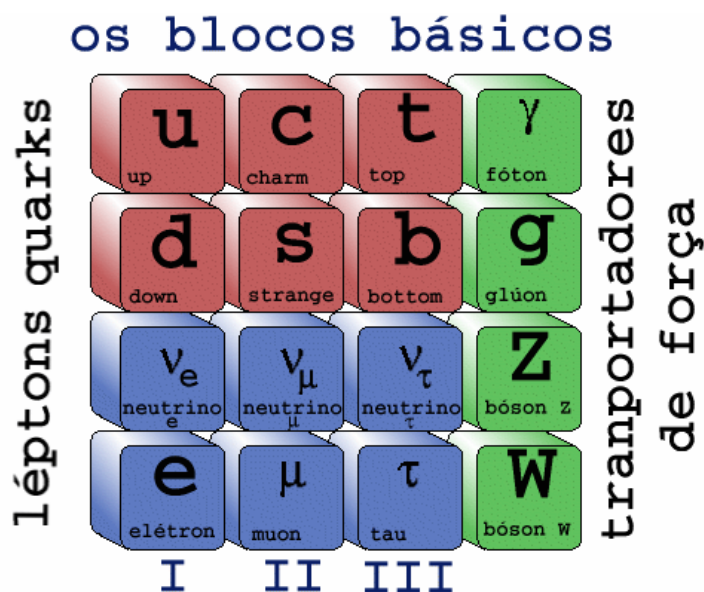


Figura 2.3 - O modelo padrão de partículas. Fonte: <http://www.astro.iag.usp.br/~ronaldo/introcosm/Glossario/ModelPad.html>

## 2.2 Os constituintes da matéria

A matéria pode ser definida grosseiramente como sendo tudo o que tem massa e ocupa um lugar no espaço. Toda matéria é formada por pequenas partículas, designadas átomos. Por muito tempo aceitava-se ser o átomo a menor parte da matéria e, dessa forma, indivisível. Podemos dizer nos dias de hoje que a física atômica e molecular aborda essencialmente as propriedades dos átomos, no nível microscópico, compondo, dessa forma, a física do infinitamente pequeno (PATY, 2009). O estudo do átomo, portanto, trata do estudo da matéria, ou seja, da estrutura atômica, bem como um campo rico de aplicações para física quântica subjacente. Durante o século XX, com o desenvolvimento da ciência, especialmente a física de partículas, e com o aprimoramento dos instrumentos de medida até chegar aos aceleradores e colisores de partículas, conseguimos saber que o átomo é composto por uma estrutura que está longe de ser elementar e é isso o que veremos a seguir.

### 2.2.1 Hádrons, bárions e mésons

Os hádrons são partículas que possuem uma estrutura interna, isto é, são compostos de quarks e não exibem o nível mais fundamental na estrutura da matéria. Nesse sentido, existem duas subclasses de hádrons: a) *bárions* que são formados por três quarks ou três antiquarks; como por exemplo, o próton e o nêutron b) *mésons* que são constituídos por um quark e um

antiquark, como por exemplo, os píons e os káons (MOREIRA, 2009). Na figura 2.4, podemos ver uma representação dos estados hadrônicos ordinários

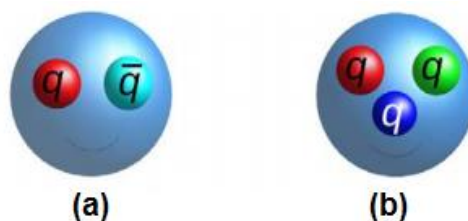
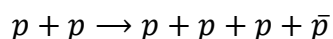


Figura 2.4 – Os tipos de estados hadrônicos observados (a) mésons; b) bárions” Fonte: <https://indico.ihep.ac.cn/event/7595/session/12/contribution/25/material/slides/0.pdf>

Os bárions têm números quânticos de *spin* seminteiro e, portanto, individualmente eles também são férmions. Os bárions formam uma família constituída por nucleons e por partículas definidas como *híperons*, incluindo as  $\Lambda$ ,  $\Sigma$ ,  $\Xi$  e  $\Omega$  que são semelhantes aos nucleons, porém com massas maiores (YOUNG e FREEDMAN, 2009). O próton é o único bárion estável, já o nêutron decai em próton, mais um elétron e um anti-neutrino do elétron e os híperons decaem em outros híperons ou nucleons por meio de diferentes processos. Todas as interações obedecem ao princípio de conservação do número de bárions, portanto é conveniente atribuímos aos bárions um número quântico conhecido por número bariônico. Segundo Young e Freedman (2009), assim como Chung (2001), conferimos um número bariônico  $B = 1$  a um bárion ( $p$ ,  $n$ ,  $\Lambda$ ,  $\Sigma$  e assim por diante), um número bariônico  $B = -1$  a cada antibárion ( $\bar{p}$ ,  $\bar{n}$ ,  $\bar{\Lambda}$ ,  $\bar{\Sigma}$  e assim por diante) e  $B = 0$  para as demais partículas. É peculiar destacar a assombrosa abrangência de tal lei de conservação atrelada a esse número quântico, pois não se tem conhecimento de nenhum resultado experimental que esteja em desacordo com tal lei. Podemos, por exemplo, considerar uma reação para produção de antipróton (TIPLER e LLEWELLYN, 2001):



Na reação, o número bariônico é conservado, pois antes da reação  $B = +1 + 1 = +2$  e depois da reação  $B = +1 + 1 + 1 - 1 = +2$ . Desse modo, podemos perceber que a produção de um antipróton é sempre acompanhada pela produção de um próton e assim a conservação do número bariônico é respeitada.

Os mésons possuem números quânticos de *spin* inteiro, o que faz deles, por definição, bósons. Não existe nenhum méson estável, ou seja, a totalidade deles decai e forma partículas com massas menores, obedecendo às leis de conservação (YOUNG e FREEDMAN, 2009).



Os quarks que compõem os hádrons estão unidos pela força nuclear forte, que, como mencionamos anteriormente, é mediada por glúons. Isso explica o fato de os quarks não serem observados como partículas livres, estão sempre confinados em estados ligados, quer dizer em hádrons. Logo, os decaimentos dos bárions e dos mésons precisam ser considerados no contexto desses estados ligados. Mais genericamente, a QCD é a teoria subnucleônica responsável por descrever “os hádrons (entre os quais se situam os nucleons) como formados por quarks e glúons” (CHUNG, 2001, p. 8).

### 2.2.2 Quarks e Glúons

De acordo com o que tratamos anteriormente, os hádrons apresentam uma subestrutura, isto é, cada hádron é constituído por certo número de partículas mais fundamentais chamadas quarks. Essa teoria foi proposta independentemente por Gell’Mann e Zweig em 1964 (GRIFFITHS, 2008). Como vimos, a partir do Modelo Padrão, os quarks são férmions, isto é, possuem spin semi-inteiro e, portanto, obedecem à distribuição estatística de Fermi-Dirac respeitando o princípio de exclusão de Pauli.

Assim como os férmions, foram atribuídos dois números quânticos com denominações bastantes excêntricas: sabor e cor. O atributo chamado de sabor nos permite distinguir os diferentes tipos de partículas que possuem as mesmas propriedades: como a carga elétrica, o spin, o tipo de interação. Cada sabor de quark implica a existência de um antisabor ou antiquark. Assim como qualquer antipartícula<sup>8</sup>, os antiquarks apresentam as propriedades similares às suas partículas correspondentes exceto as propriedades que têm a possibilidade de existir o valor oposto, como a carga elétrica e carga de cor (CHUNG, 2001).

Segundo Moreira (2009), os quarks apresentam uma propriedade adicional chamada carga de cor. Assim como a carga elétrica que possui duas condições (positivo e negativo), cada sabor pode apresentar três estados de cor (vermelho, verde e azul), dessa forma, temos 18 quarks. Não obstante, para cada partícula temos uma antipartícula, ou seja, existiriam um total de 12 léptons e 36 quarks.

Curiosamente, todos os férmions experimentam a interação da força nuclear fraca, no entanto os quarks também experimentam as interações de força fortes enquanto os léptons não

---

<sup>8</sup> A antipartícula compartilha a mesma massa e o mesmo spin da partícula análoga, apresentando, no entanto, uma carga oposta. (MARTINS, 2001)

(YOUNG e FREEDMAN, 2009). Como apresentamos anteriormente, os quarks nunca foram encontrados isoladamente, estão sempre confinados em partículas hadrônicas (mésons ou bárions) e, desse modo, os quarks possuem uma carga elétrica fracionária  $\left(+\frac{2}{3}e\right)$ , para alguns e tipos e  $\left(\frac{1}{3}e\right)$  para outros, entretanto, essas cargas fracionárias nunca foram observadas diretamente, pois os quarks não existem isoladamente. Assim sendo, a soma das cargas elétricas dos quarks que compõem um hádron específico é “sempre um múltiplo inteiro de  $e$ ” (MOREIRA, 2009, p. 2), o confinamento desses quarks é mantido justamente pela interação forte.

Podemos então perguntar: O que mantém um quark ligado a outro? Segundo Young e Freedman (2009), a interação atrativa entre os quarks é mediada por uma partícula chamada glúon, que é um bóson, com massa nula e spin inteiro, de modo análogo ao fóton que media a interação eletromagnética. Desse modo, os glúons são os portadores do campo de interação nuclear forte, que ligam os quarks uns aos outros, constituindo as partículas hadrônicas e assim os quarks ficam confinados no interior de seus hádrons (PATY, 2009).

A teoria mais aceita para descrever a interação nuclear forte entre os quarks e glúons é a cromodinâmica quântica (QCD), que estabelece as bases para descrever os hádrons a partir de seus constituintes fundamentais.

### 2.3 Cromodinâmica quântica (QCD)

A teoria que melhor descreve a interação entre os quarks é chamada cromodinâmica quântica, QCD (do inglês Quantum Chromodynamics). Essa teoria é análoga à eletrodinâmica quântica, QED (do inglês Quantum Electrodynamics), que descreve as interações eletromagnéticas (interação entre as cargas elétricas) de forma bem consistente. O processo fundamental, em analogia a QED ( $e \rightarrow e + \gamma$ ), é  $q \rightarrow q + g$  (*quark*  $\rightarrow$  *quark* + *gluon*), representado no diagrama de Feynman<sup>9</sup> na fig. 2.5. Como já sabemos, os léptons não possuem uma carga de cor, desse modo, eles não participam das interações fortes (GRIFFITHS, 2008):

---

<sup>9</sup> Os diagramas de Feynman são um recurso utilizado para fazer o tratamento matemático na teoria quântica de campos, sendo um conjunto de “representações esquemáticas de como as partículas interagem entre si, dentro de uma determinada teoria ou modelo” (AGUILAR, 2018, p. 1).

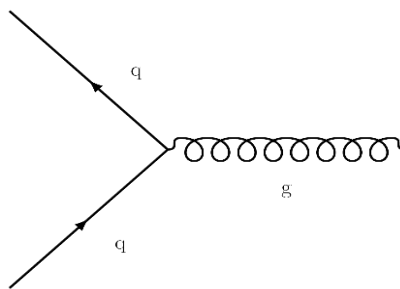


Figura 2.5 – Diagrama de Feynman para a interação quark-quark (GRIFFITHS, 2008, p. 60)

A QCD descreve, portanto, as interações fortes como resultado das interações entre de quarks (spin seminteiro) e glúons (spin inteiro).

Na QCD, o quark tem uma carga semelhante à carga elétrica, chamada de carga de cor que foi postulada para resolver um problema: como os quarks são férmions, obedecem ao princípio de exclusão de Pauli, portanto, um bárion não pode ter três quarks com o mesmo sabor e o mesmo spin. Assim, além de todos os número quânticos já conhecidos, cada quark (u, d, c, s, b, t) possui três possíveis valores de carga de cor (vermelho, azul e verde), destarte, o princípio de exclusão é respeitado em cada cor. (YOUNG e FREEDMAN, 2009)

Segundo Tipler e Llewellyn (2001, p. 429): “Todas as partículas que existem na natureza são incolores”. Desse modo, o termo “incolor” assume dois significados:

- i. A quantidade total de cor (ou seja, a soma dos números quânticos de cor) é nula;
- ii. As três cores (e as anti-cores) estão presentes em proporções iguais.

A interação nuclear forte, como já citado anteriormente, é mediada por partículas chamadas glúons, que exercem a mesma função que os fótons na QED, também como os fótons, os glúons têm massa de repouso igual a zero e spin 1. Porém, diferentemente dos fótons que têm carga elétrica nula, os glúons possuem uma carga de cor diferente de zero, ou seja, são bicolores dotados de cor e anticor (TIPLER e LLEWELLYN, 2001). Por causa dessa carga de cor, os quarks se atraem reciprocamente formando os hádrons. Um glúon tem a sua carga de cor alterada quando é absorvido ou emitido por um quark. Assim:

Um bárion sempre contém um quark vermelho, um verde e um azul, de modo que o bárion em si não possui nenhuma cor efetiva. Cada glúon exibe uma combinação de cor-anticor (por exemplo, azul antivermelho) que permite que ele transmita uma cor quando é trocado, e a cor é conservada durante a emissão e absorção de um glúon por um quark. No processo de troca de glúons, as cores dos quarks variam, de modo que existe sempre um quark de cada cor em qualquer bárion. A cor de um quark individual varia continuamente à medida que o quark troca glúons. (YOUNG e FREEDMAN, 2009, p. 379)

Analogamente, o mesmo processo se repete com os mésons, por exemplo os píons. Os mésons, formados por pares quark-antiquark, têm cores que se cancelam (por exemplo, o azul e o antiazul), logo os mésons também têm carga de cor nula (são incolores). Assim:

Suponha que um pión inicialmente seja constituído por um quark azul e por um antiquark antiazul. O quark azul pode se transformar em um quark vermelho emitindo um glúon virtual antivermelho. A seguir o glúon é absorvido pelo antiquark antiazul, convertendo-o em um antiquark antivermelho. A cor é conservada em cada emissão e absorção, porém um par azul-antiazul deu origem a um par vermelho-antivermelho. Essas variações ocorrem continuamente, de modo que devemos imaginar um pión como uma superposição de três estados quânticos, azul-antiazul, verde-antiverde e vermelho-antivermelho. (YOUNG e FREEDMAN, 2009, p. 379)

Essa exigência em que estados ligados de dois ou mais quarks com cargas de cor igual a zero recebe o nome de confinamento de cores (SHAW e MARTIN, 2013). Essa interação de cor entre os quarks segue as mesmas regras da interação entre cargas elétricas, nas quais quarks com cores iguais se repelem e quarks com cores diferentes se atraem. Desse modo, dois quarks verdes se afastam, ao passo que um quark verde é atraído por outro quark antiverde (SERWAY, 1996).

Como vimos, a QCD é análoga a QED, por conseguinte, na QED as interações eletromagnéticas se dão entre cargas elétricas mediadas por fótons e a interação forte entre cargas de cor mediadas por glúons. Porém, existe outra incongruência, além da carga de cor, no que se refere as essas interações. Quando as cargas elétricas se aproximam, a intensidade da interação aumenta (lei de coulomb), mas quando ocorre o mesmo com as cargas de cor, a interação fica mais fraca. Esse fenômeno é conhecido como liberdade assintótica (GRIFFITHS, 2008; SHAW e MARTIN, 2013).

### 2.3.1 Confinamento de cor

Como já foi mencionado anteriormente, um quark nunca foi encontrado isoladamente, quer dizer, os quarks não podem se afastar muito uns dos outros. O afastamento forçado dos quarks faria a energia do sistema aumentar até o limite de ser possível a produção de par quark-antiquark e, desse modo, estabelece-se a observação apenas de estado com carga de cor nula. (LIMA, 2017)

Uma possível aproximação da função potencial para a interação nuclear forte, em que se descreve o aumento da força forte em relação ao aumento da distância  $r$ , seria (TIPLER e LLEWELLYN, 2001, p. 431):

$$V_{QCD}(r) = -\frac{4\alpha_s}{3r} + kr \quad (2.1)$$

em que  $-\frac{4}{3}$  é o fator de carga de cor,  $\alpha_s$  é a constante de acoplamento, é um número que está relacionado à força forte e que evidencia o quão fortemente ligados estão dois elementos de um sistema (SHAW e MARTIN, 2013). A constante  $k$  está relacionada com a energia de campo, chamada de tensão de corda e, por fim, o  $r$  é a distância de separação entre os quarks.

A eq. 2.1 “já foi razoavelmente bem testada experimentalmente para pequenas distâncias” (TIPLER e LLEWELLYN, 2001, p. 431), assemelhando-se à lei de Coulomb (força elétrica). Pode-se perceber que o potencial ( $V_{QCD}$ ) cresce de forma ilimitada com  $r$ . Como indica a figura 2.6, a força atrelada à interação forte,  $F_{QCD} = -\nabla V_{QCD}$ , tende a aumentar indefinidamente com a distância  $r$ . Em contrapartida, a interação forte diminui com o aumento de  $r$ , mas para  $r \leq 0,1 fm$  a atração é pequena e os quarks se movem com liberdade, como partículas livres. Entretanto, quando  $r > 0,1 fm$ , a força da interação nuclear forte aumenta ligeiramente e, com isso, a troca de ne glúons não acontece. (SHAW e MARTIN, 2013)

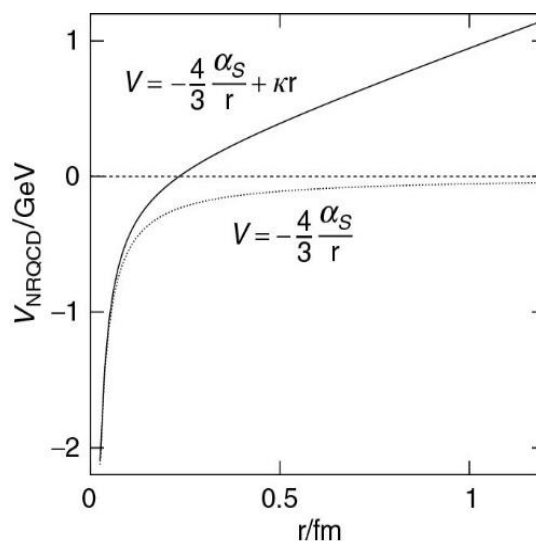


Figura 2.6 – Potencial QCD a que estão submetidos os quarks assumindo  $\alpha_s = 0,2$  e  $k = 1 GeV/fm$ . (THOMSON, 2013, p. 274)

### 2.3.2 Liberdade assintótica

A cromodinâmica quântica tem como contribuição a descoberta da liberdade assintótica, que postula que a intensidade da interação forte entre os quarks depende da distância de separação entre eles, ou seja, o acoplamento entre os quarks assume um valor em que a interação nuclear forte entre os quarks diminuiu à medida que eles se aproximam. Esse comportamento se deve ao fato dos glúons, que mediam as interações entre os quarks, possuírem os atributos de cargas de cor.

A grandeza chamada constante de acoplamento  $\alpha_s$  exprime o quão intensa é a ligação entre os quarks no interior de um hádron e é dada por um parâmetro único (GRIFFITHS, 2008, p. 295, tradução nossa):

$$\alpha_s(|Q^2|) = \frac{12\pi}{(11N_c - 2N_f) \ln\left(\frac{|Q^2|}{\Lambda^2}\right)} \quad (|Q^2| \gg \Lambda^2) \quad (2.2)$$

em que  $Q$  é a energia de interação entre os quarks,  $N_c$  é o número de cores,  $N_f$  é o número de sabores, e  $\Lambda$  é uma medida determinada experimentalmente e tem um valor típico de  $200\text{MeV}$ . Podemos perceber, a partir da equação 2.2, uma relevante propriedade da QCD, que é o fato da relação entre a constante de acoplamento  $\alpha_s$  e a transferência de momento pelos quarks durante a interação ser inversamente proporcional. (CAHN e GOLDHABER, 2009; LIMA, 2017)

Outro fato a se destacar é a relação entre sabores e cores ( $11N_c - 2N_f$ ) que é um parâmetro que indica a intensidade do acoplamento forte, em que, se  $11N_c > 2N_f$  o acoplamento aumenta em pequenas distâncias e, se  $11N_c < 2N_f$  o acoplamento diminui. Essa seria uma nova maneira de determinar, qualitativamente, a liberdade assintótica. No Modelo Padrão, os quarks possuem seis sabores ( $N_f = 6$ ) e três cores ( $N_c = 3$ ), então  $11N_c - 2N_f = -21$ , e o acoplamento diminui. (GRIFFITHS, 2008; THOMSON, 2013)

Na figura 2.7, temos algumas medidas de acoplamento  $\alpha_s$  demonstrando a consistência com as previsões da QCD em que  $\alpha_s$  diminui com o aumento de  $|Q|$ .

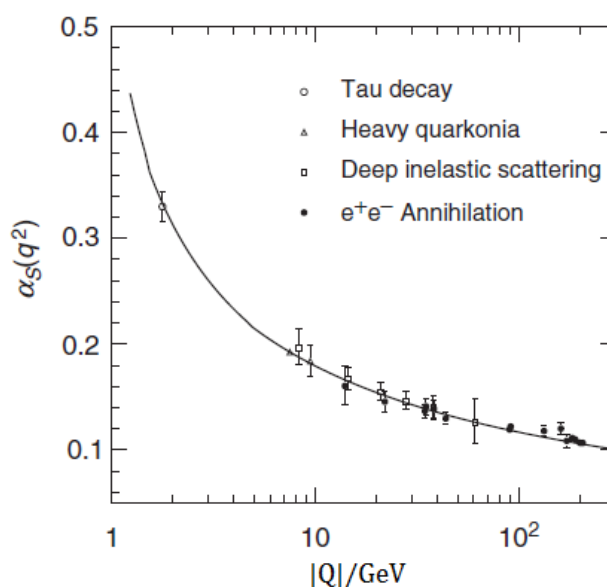


Figura 2.7 – Medidas de acoplamento  $\alpha_s$  para diferentes valores de  $|Q|$ . Adaptada de (THOMSON, 2013, p. 259)

## 2.4 O plasma de quarks e glúons

Quando falamos das mudanças de fase de uma substância como, por exemplo, a água ( $H_2O$ ), nas CNTP<sup>10</sup> que se apresenta no estado sólido (gelo) abaixo do ponto de congelamento de  $0^\circ\text{C}$ , estado líquido quando a água está entre  $0^\circ\text{C}$  e  $100^\circ\text{C}$  e acima do ponto de ebulição, de  $100^\circ\text{C}$ , a água se torna um gás (vapor). Como sabemos, essas mudanças dependem do calor sensível (para mudança de temperatura) e do calor latente (para mudança de fase) que dependem da pressão a que se está submetido. Podemos, então, construir um diagrama de fases (fig. 2.8) que mostra os estados da água dependendo da pressão e temperatura:

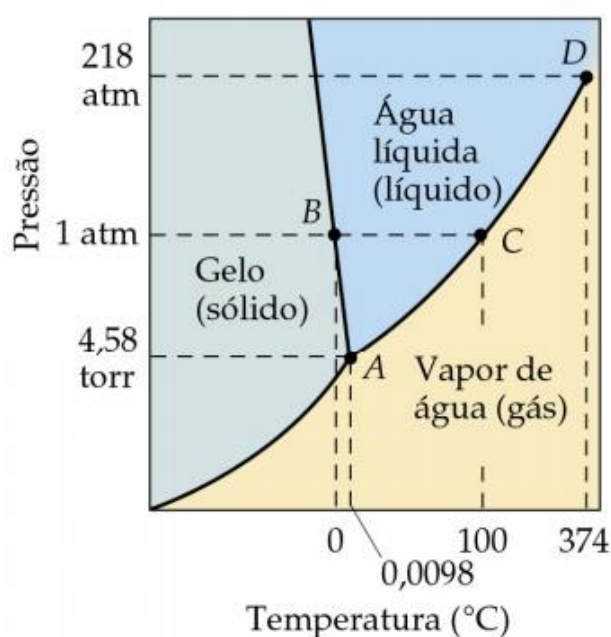


Figura 2.8 – Diagrama de fases da água. Fonte:

<https://www.feis.unesp.br/Home/departamentos/fisicaequimica/relacaodocentes973/quimicageraleinorganica2b-1.pdf>

Assim, podemos afirmar que o estado de uma substância como a água depende da temperatura e da pressão. Microscopicamente, o estado de um núcleo atômico depende da temperatura e da densidade dos nucleons, desse modo, os núcleos apresentam em seu interior características semelhantes aos líquidos. Em se tratando da matéria nuclear, temos dois cenários para a transição de fase (PATY, 2009), levando em consideração a densidade dos nucleons e a sua temperatura: a multifragmentação e o Plasma de Quarks e Glúons (QGP).

<sup>10</sup> Condições normais de pressão e temperatura.

Submetidos a condições de altíssima energia ou de densidade muito alta (ou ambas as condições), os quarks e os glúons, constituintes dos hádrons, ultrapassam o estado de confinamento, formando o QGP, um novo estado da matéria, em que os nucleons são “dissolvidos” formando uma “sopa” de quarks e glúons (PATY, 2009). Esse desconfinamento, devido ao estado de alta densidade e energia em que a matéria se encontra, ocorre “em um volume muito maior do que os típicos tamanhos de hádrons”. Temos uma previsão que alguns microssegundos após o Big Bang, todo o universo seria formado por um QGP. “Quando o universo começou a esfriar, a formação hádrons ocorreu”. (JAHNKE, 2016, p. 21, tradução nossa).

Na figura 2.12, temos um diagrama de fases da matéria nuclear na QCD da temperatura em função da densidade de bárions<sup>11</sup>, em uma posição invertida em relação ao diagrama de fases da água (fig. 2.11). Podemos perceber que em temperaturas e densidades ainda mais elevadas, os nucleons podem sofrer uma mudança de fase.

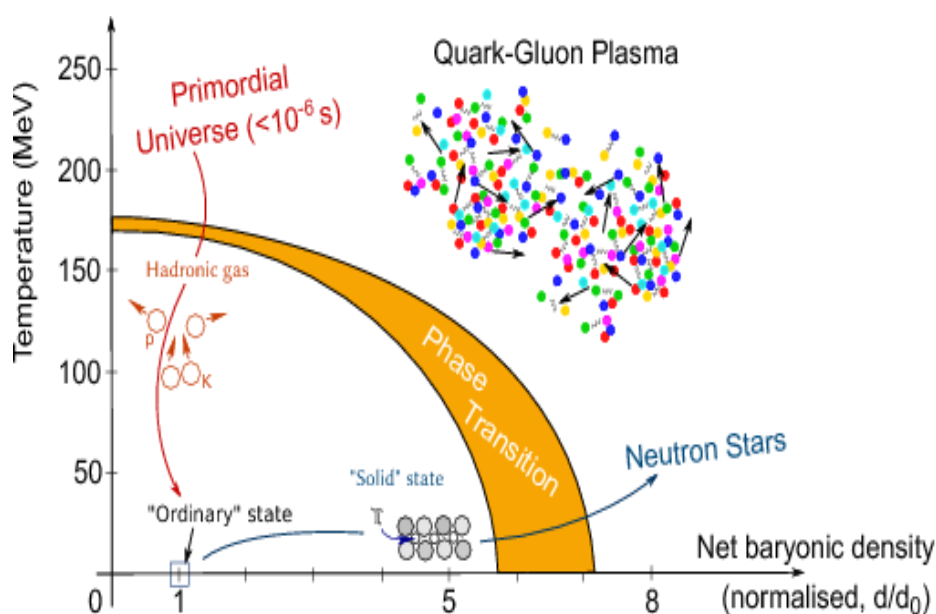


Figura 2.9 – Diagrama de fase (temperatura, densidade bariônica) da matéria da QCD, variando de matéria nuclear ordinária até o QGP. Fonte: <https://cds.cern.ch/record/2025215>

<sup>11</sup> Podemos estimar a densidade bariônica que está relacionada ao potencial químico bariônico e podemos defini-lo como a energia necessária para se acrescentar um bárion em um sistema ligado com entropia ( $S$ ) e volume ( $V$ ) constantes, assim, temos (LIMA, 2017, p. 4):

$$\mu_B = \left( \frac{\partial E}{\partial N_B} \right)_{S,V}$$

Como cada bárion é constituído por três quarks, temos que  $\mu_B = 3\mu_q$



É importante notar no diagrama da fig. 2.9 que, para temperatura próximas de  $1\text{ GeV}$ , os quarks e os glúons estão confinados no interior do hádrons (prótons e nêutrons), que são os constituintes dos núcleos atômicos. Segundo Lima (2017), quando as temperatura são maiores que a energia nuclear de ligação, a matéria no interior do núcleo se transforma em um gás de hádrons, com as altíssimas temperaturas e o potencial químico reduzido, o gás hadrônico passa à fase de QGP, um estado sem o confinamento de cor de quarks e glúons, ou seja, devido à liberdade assintótica, os quarks e glúons se encontram livres em um amplo volume, comparável ao tamanho de um hádron (SHAW e MARTIN, 2013). Essa transformação também acontece quando a matéria nuclear se encontra a baixíssimas temperaturas e um grande potencial químico. O estudo do QGP, a partir da expansão e resfriamento da matéria nuclear, busca entender a origem das partículas que formam a matéria do nosso universo. (CERN, 2018)

## 2.5 O plasma de quarks e glúons em laboratório: o experimento ALICE no CERN

Com já mencionado, acredita-se que o Plasma de quarks e glúons existiu momentos após o Big Bang; hoje temos fortes evidências de sua existência no centro de estrelas de nêutrons (SHAW e MARTIN, 2013). Essa previsão levou ao desenvolvimento de experimentos para tentar reproduzir o QGP em laboratório a partir de colisões entre íons pesados (tipicamente chumbo ou ouro) através de uma energia suficientemente grande, em diferentes aceleradores e colisores de partículas e em diferentes laboratórios desde os anos 1970 (ZIMMERMANN, 2016). Os principais laboratórios são: Brookhaven National Laboratory (BNL), com o colisor de partículas Relativistic Heavy Ion Collider (RHIC); e o European Organization for Nuclear Research (CERN), com o também colisor Large Hadron Collider (LHC) a partir do experimento A Large Ion Collider Experiment (ALICE). Cada um com as suas especificidades de energia de colisão e, portanto, dando conta de diferentes elementos da QCD.

O tempo de duração das mudanças de fase (em torno de  $10^{-23}$  segundos) na matéria nuclear é muito curto e isso impede uma observação direta. O QGP tem sido observado com eventos de colisões de íons pesados relativísticos, especialmente no experimento ALICE no LHC, com energias maiores ou iguais a  $100\text{ GeV}$  por nucleon (PATY, 2009). Essas colisões no interior de um sistema com um grande número de partículas podem alcançar temperatura e densidade extremamente altas e, desse modo, repetindo condições análogas àquelas que prevaleceram no início do Universo (GIUDICE, 2013).

Podemos ter uma noção (fig. 2.10) da evolução temporal do QGP em função dos diferentes níveis de energia que esse plasma sofre (ZIMMERMANN, 2016):

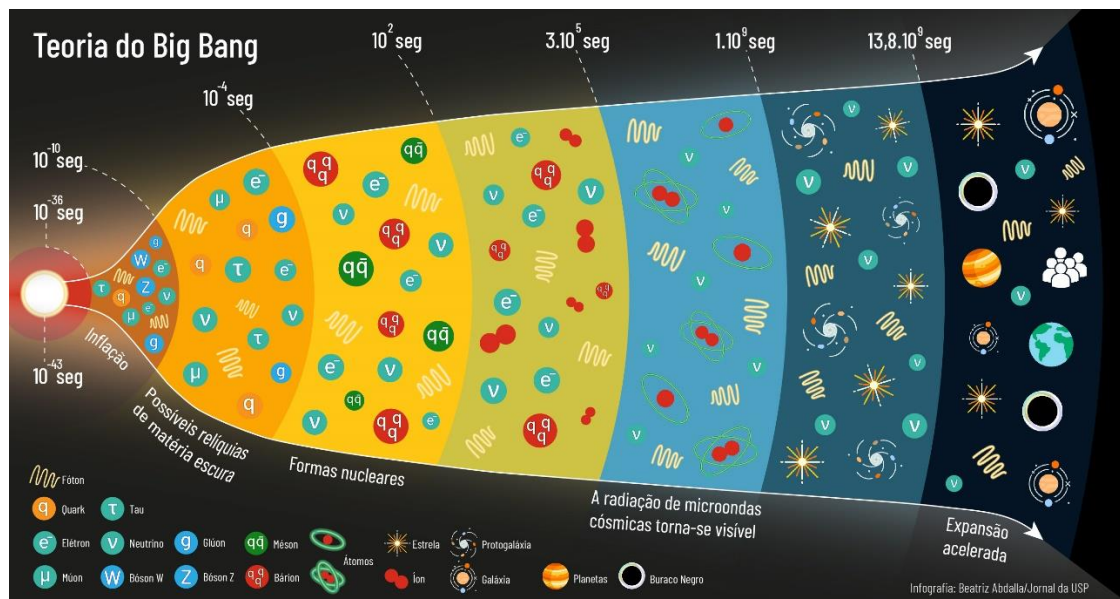


Figura 2.10 – “Diferentes estágios da formação do plasma de quarks glúons” Fonte: <https://jornal.usp.br/ciencias/ciencias-exatas-e-da-terra/maior-acelerador-de-particulas-do-mundo-passa-por-um-upgrade-o-que-vem-por-ai/>.

A figura 2.10, mostra o modelo proposto por Bjorken no qual a colisão se inicia com uma velocidade próxima à velocidade da luz. Esse modelo prevê que os dois núcleos sofram uma contração de Lorentz perpendicularmente à direção do feixe, passando “de sua forma previamente esférica até um disco fino com uma espessura de cerca de  $1\text{fm}$ ” (ZIMMERMANN, 2016, p. 21, tradução nossa). Antes das colisões, tem-se um grupo de partículas excitadas, seria uma fase de pré-equilíbrio ( $t < \tau_0$ ). Segundo Dormalen:

A produção das partículas excitadas ocorre em uma escala de tempo da ordem de  $0,1\text{fm}/c$ . As partículas interagem umas com as outras e desexcitam-se em novos quarks e glúons. Uma massa de matéria quente e densa é formada que rapidamente se torna térmica em um tempo de aproximadamente  $1\text{fm}/c$ . Neste momento ( $t = \tau_0$ ) o plasma de quarks e glúons é formado. (DOREMALEN, 2017, p. 12, tradução nossa)

Na figura 2.11, temos uma outra maneira de observar a evolução temporal em uma colisão de íons pesados, demonstrando com maior riqueza de detalhes a evolução da sequência de eventos antes e após as colisões.

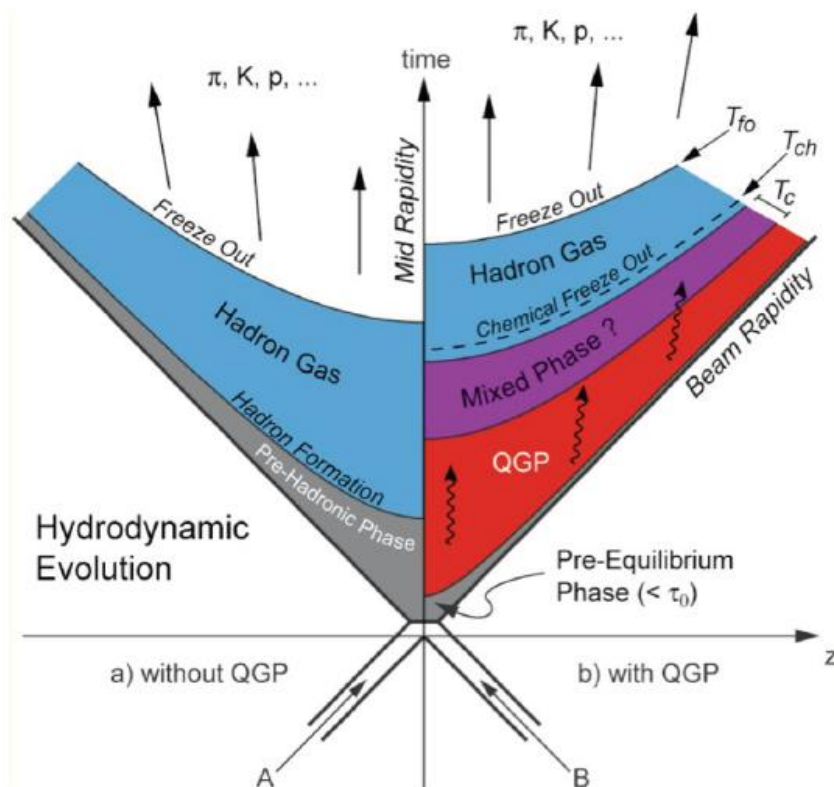


Figura 2.11 – Evolução espaço-temporal de uma colisão de íons pesados sem (à esquerda) e com formação de QGP (à direita). (DOREMALEN, 2017, p. 13, tradução nossa)

O tempo de formação das partículas e a sequência de eventos de após as colisões são importantíssimos para o entendimento da formação inicial. Podemos estimar o tempo de formação  $a$  “partir do diagrama de Feynman da produção de pares de quarks. Vemos que esse tempo é inversamente proporcional à massa do quark” ( $m_q$ ) (DOREMALEN, 2017, p. 13):

$$\tau_q \approx \frac{\lambda_{compton}}{c} = \frac{\hbar}{2m_q c^2} \quad (2.3)$$

Assim, os quarks mais pesados têm um tempo de formação menor na colisão, i.e., são produzidos antes que os mais leves.

Ainda segundo Dormalen (2017), as partículas produzidas durante as colisões estão sujeitas a dois efeitos:

- Efeitos de estado inicial - são efeitos que afetam a seção transversal da colisão. Estes efeitos são causados pelas propriedades da colisão. Eles incluem o tamanho das partículas em colisão e energia em que eles colidem.
- Efeitos no estado final - são causados pelo meio gerado. Estes efeitos podem influenciar os rendimentos e as propriedades cinemáticas das partículas produzidas de uma forma que depende das propriedades do meio. (DOREMALEN, 2017, p. 13, tradução nossa)

O QGP é um estudo central na QCD, não só para o entendimento das interações fortes, mas também para a cosmologia. Acreditamos que o QGP é o estado da matéria ordinária em

que o universo primordial se encontrava instantes após Big Bang, i.e., seria o momento em que foram concebidas as partículas elementares (quarks, léptons e bósons) e, posteriormente, com a expansão do universo e o seu conseqüente resfriamento, houve condições para que os quarks e o glúons se combinassem (ou recombinassem) para a formação de hádrons.

## Capítulo 3: Metodologia de pesquisa

No presente trabalho, utilizamos textos de divulgação científica como recurso mediador para o ensino de Física de Partículas no Ensino Médio. Paralelamente a isso, utilizamos diferentes estratégias de ensino em sala de aula, na perspectiva de Isabel Solé (2007), tais como: antes da leitura: apresentação do tema tratado no texto; durante a leitura: leitura e formulação de questões a partir do texto sugerido, exposição dos alunos a partir de um debate a respeito das perguntas formuladas realizadas individualmente e selecionadas em grupo com a intervenção do professor/pesquisador a partir da fala dos alunos; depois da leitura: aula expositiva a respeito do tema apresentado pelo texto.

Diante disso, com o objetivo de reconhecer os limites e potencialidades dessas atividades, assumimos a pesquisa qualitativa como aporte teórico de nossa pesquisa para compreender a efetividade de tal intervenção e proposta para a sala de aula, pois acreditamos que isso nos trará uma considerável aproximação e um entendimento entre a realidade a ser investigada e a prática de ensino por nós idealizada.

### 3.1 Pesquisa qualitativa

A pesquisa qualitativa indica aspectos subjetivos e objetivos, contudo sem uma análise numérica - quantitativa, e se atém em aprofundar a compreensão das ações de um grupo social e a dinâmica de suas relações, tendo no pesquisador um sujeito e também o objeto da pesquisa, buscando compreender significados e elaborar estratégias para resolver um determinado problema de pesquisa.

Segundo Antonio Chizzoti (2010), existe uma sequência de premissas subjacentes e que nos dão um embasamento teórico, favorecendo a nossa compreensão a respeito desse tipo de pesquisa:

- Conhecer nos leva a uma ação e é na pesquisa que podemos formar pesquisadores, sujeitos de suas ações e que, portanto, podem transformar os problemas nos quais estão imersos;
- O sujeito pesquisado, consciente de suas ações, tem a capacidade de reconhecer as próprias “necessidades”, identificar “problemas” e desenvolver uma “ação”. (CHIZZOTTI, 2010, p. 105)
- O sucesso das tomadas de decisão depende da efetiva participação dos sujeitos envolvidos nos processos, perscrutando as reais necessidades, sua organização e a proposição de soluções para os problemas identificados.

Desconectada de um “padrão paradigmático”, a pesquisa qualitativa apresenta algumas “possibilidades de execução da pesquisa” (CHIZZOTTI, 2010, p. 105) que dependem do “trabalho criativo” e das habilidades do pesquisador e dos pesquisados. Com um viés exploratório, temos uma pesquisa mais reflexiva, centrada na análise dos resultados e que nos fornece uma visão detalhada das informações coletadas, tendo o seu ponto alto no contato com o público-alvo e com o ambiente de estudo, permitindo a formulação de hipóteses antes do início da coleta de dados, dando abertura para uma comparação com o material pesquisado.

### **3.1.1 Pesquisa-ação**

O professor, no nosso entendimento, enquanto tutor, mediador das ações em sala de aula, tem constantemente colocado à prova a sua capacidade de gerir as atividades de aprendizagem propostas, bem como a qualidade do conteúdo apresentado. Nessa perspectiva, acreditamos na relação professor-pesquisador, em que o pesquisador também é o nosso objeto de pesquisa, desse modo a metodologia por nós adotada trata de uma pesquisa-ação, que pretende, em última instância, envolver o professor no reconhecimento de sua prática e no entendimento de que as atividades propostas por ele geram não apenas uma nota a ser registrada no boletim escolar, mas principalmente se constituem como atividade que podem garantir a qualidade da formação do aluno. Diz respeito também à formação do professor, pois discute a importância do planejamento de ações para um processo de ensino-aprendizagem com qualidade. Nesse panorama, o professor precisa compreender e intervir no seu espaço de trabalho e tem como principal atributo o estudo de uma conjuntura em particular, dotada de uma multiplicidade de dimensões, buscando apresentar o objeto de estudo a partir da perspectiva do observador, relatando como este o percebe.

Nesse caso, o pesquisador, aberto a novas descobertas, lança um olhar sobre um determinado contextual de vida real, supostamente singular, ressaltando as suas características, particularidades, bem como a sua complexidade, estabelecendo uma estrita relação entre a teoria e a prática.

## **3.2 Coleta de dados**

A técnica de pesquisa utilizada foi um misto de observação e áudio, na qual buscamos ter acesso direto ao fenômeno de ensino de física de partículas a partir de textos de divulgação científica, “[...] colhendo informações dos sujeitos a partir do seu discurso livre.” (SEVERINO, 2007). Sem que se tivesse algo a ser observado previamente, os dados foram obtidos por

meio de uma experiência em sala de aula, onde o debate foi gravado via celular dos estudantes.

Em contrapartida, a coleta de dados se deu a partir do desenvolvimento de um roteiro de trabalho abordando alguns aspectos relevantes para a pesquisa e construção das atividades de leitura, tais como leitura e formulações de questões por parte dos alunos, debates para escolha em grupo (4 ou 5 alunos) das questões mais significativas e posterior exposição dessas perguntas para o grande grupo em que o professor, mediador de toda a atividade, conduz a turma de alunos a encontrar e discutir as possíveis respostas para o debate levantado.

O registro das atividades desenvolvidas em sala de aula se deu a partir de gravações de áudio utilizando o smartphone dos próprios educandos, para uma investigação das conversas e a interação dos participantes a respeito dos textos de divulgação científica, buscando reconhecer o debate centrado nas demandas dos alunos, atores principais das atividades de leitura.

### **3.3 Contextualização**

A nossa pesquisa se passa na Escola Estadual Leda Guimarães Natal, com as turmas da 3ª série do Ensino Médio do período noturno, com um total de 110 alunos (3ª A com 29 alunos, 3ª B com 28 alunos, 3ª C com 29 alunos e 3ª D com 25 alunos). A escola objeto de nosso trabalho abriga tanto o ensino regular com o Ensino Fundamental II, com 718 alunos matriculados e o Ensino Médio, com 443 alunos matriculados, totalizando 1161 no ano de 2019. A instituição conta com um total de 60 funcionários, sendo 43 professores (28 efetivos). Há, ainda, o ensino de jovens e adultos (EJA) na Penitenciária ASP Joaquim Fonseca Lopes, com turmas que vão desde o Ensino Fundamental I (9 alunos matriculados), Ensino Fundamental II (75 alunos matriculados) e o Ensino Médio (67 alunos matriculados), totalizando 151 alunos. A escola foi inaugurada em 1997, durante a administração Mário Covas, criando um notório vínculo com a comunidade em que está inserida.

A Escola Estadual Leda Guimarães Natal está localizada no distrito de Parelheiros, o segundo maior distrito em extensão territorial da cidade de São Paulo (o distrito vizinho de Marilac tem o maior território da cidade e divide a mesma subprefeitura: Parelheiros). A região é conhecida pelas tradicionais famílias de imigrantes, tendo recebido o primeiro grupo de famílias providas da Alemanha no estado em 1827. Também recebemos uma quantidade importante de imigrantes japoneses durante a 2ª Guerra Mundial (mais ou menos em 1940), aumentando a produção agrícola local, sendo desde então considerado um distrito rural, tendo como principais características:

- **Baixa densidade demográfica:** Localizado na zona sul da capital paulista, o distrito de Parelheiros possui um território de aproximadamente  $153,5\text{km}^2$ <sup>12</sup> (23,68% do território do município), apresentando, segundo um perfil<sup>13</sup> traçado pelo SEADE com base nos dados do IBGE (Censo Demográfico 2010), uma população de pouco mais de 131,183 mil habitantes, ou seja, uma densidade demográfica de  $855\text{ habitantes}/\text{km}^2$ . Mesmo com a lei estadual de proteção dos mananciais (Lei 9.866 /97) que baliza o uso e a ocupação do solo, bem como a preservação e a recuperação dos mananciais de interesse regional no Estado de São Paulo, o processo de crescimento populacional na região é intenso e desordenado, em que uma parcela importante da população reside de forma precária, gerando sérios impactos e deterioração das áreas de mananciais que compõem o distrito colocando em risco o que resta da mata atlântica.
- **Agricultura familiar:** Com a vinda dos imigrantes japoneses, a região se desenvolveu a partir do cultivo de plantações diversas, geridas principalmente ao redor de 300 agricultores familiares locais.
- **Áreas de reservas ambientais de remanescentes da mata atlântica:** Nas proximidades da escola, temos as áreas de proteção ambiental (APA) Capivari-Monos e Bororé-Colônia (Lei nº 13.136, de 9 de junho 2001 e Lei nº 13.706, de 06 de janeiro de 2004). As duas áreas têm uma extensão correspondente a 1/5 do território municipal. Contando com uma área de floresta bem conservada, a região abriga três bacias hidrográficas: rio Capivari, um dos poucos rios e cachoeiras com água limpa e cristalina da capital; e as represas do Guarapiranga e Billings. Conta, ainda, com duas aldeias indígenas.

---

<sup>12</sup> Só para efeito de comparação, a cidade de São Caetano do Sul tem  $15,331\text{ km}^2$  de território Fonte: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/sp/sao-caetano-do-sul/panorama>

<sup>13</sup> Fonte: Fundação Sistema Estadual de Análise de Dados do Estado de São Paulo (<http://www.perfil.seade.gov.br/>)



- **Aldeias indígenas da etnia guarani<sup>14</sup>**: Com cerca de mil habitantes, o distrito de Parelheiros abriga duas aldeias indígenas: Krucutu e Tenondé Porá, que tentam manter, os costumes e tradições – idioma, religião e cultura.
- **Depressão geológica<sup>15</sup>**: Conhecida como cratera da colônia, o astroblema de Parelheiros, com um diâmetro de 3,6 km e uma camada de sedimentos com 400 metros de profundidade, é o resultado do impacto da Terra com um corpo celeste que ocorreu entre 5 e 36 milhões de anos, sendo de grande interesse para o entendimento do clima, da fauna e flora há milhões de anos. Atualmente, a cratera abriga um bairro com um número de habitantes próximo de 30 mil, chamado Vargem Grande, algumas propriedades agrícolas e um presídio. Em 2007, foi criado o “Parque Natural Municipal (PNM) Cratera de Colônia”.

Segundo um estudo desenvolvido pela Fundação Seade, a partir dos dados fornecidos pelo IBGE (Censo demográfico de 2000), a subprefeitura de Parelheiros (que abrange os distritos de Marcilac e Parelheiros) apresenta um alto índice de vulnerabilidade social (IPVS), indicando uma renda média abaixo de R\$ 460,00 para os responsáveis pelo domicílio, sendo que 65,2% têm um rendimento máximo de três salários mínimos. O nível de escolaridade, em média, indica 5 anos de estudo, sendo que 26,8% têm o ensino fundamental completo e 12,41% são analfabetos.

---

<sup>14</sup> Fonte: Secretaria Municipal das Prefeituras Regionais (<https://www.prefeitura.sp.gov.br/cidade/secretarias/subprefeituras/parelheiros/historico/index.php?p=411>).

<sup>15</sup> Fontes: Monumentos Geológicos (<http://monumentosgeologicos.mugeo.sp.gov.br/visitacao/cratera-de-colonia/>) e Secretaria Municipal do Verde e do Meio Ambiente ([https://www.prefeitura.sp.gov.br/cidade/secretarias/meio\\_ambiente/unid\\_de\\_conservacao/index.php?p=42073](https://www.prefeitura.sp.gov.br/cidade/secretarias/meio_ambiente/unid_de_conservacao/index.php?p=42073))

## **Capítulo 4: Explorando textos de divulgação científica para ensinar física de partículas na sala de aula**

Acreditamos que a divulgação científica produzida na fronteira entre o campo científico e o espaço escolar exerce uma influência importante sobre a atualização do currículo de Física na educação básica no Brasil, tendo em vista as implicações nos contextos tecnológicos, ambientais, sociais, políticos e econômicos. E um dos caminhos a serem explorados é a efetiva inserção da Física Moderna e Contemporânea a partir da Física de Partículas no currículo do Ensino Médio, que traz consigo a dificuldade de aproximação entre as pesquisas produzidas nos grandes centros e a sua abordagem em sala de aula.

Ensinar Física de Partículas não é nada fácil, os conceitos atrelados a esse campo do conhecimento não são intuitivos e, em geral, não encontramos analogias clássicas. Nesse sentido, preocupados com essa temática, propomos Atividades de Ensino e Aprendizagem com o objetivo de ensinar conhecimentos de Física de Partículas para o Ensino Médio. Acreditamos que a inserção de textos de DC como recurso didático para o ensino de Física pode oportunizar novas práticas de leitura no contexto da sala de aula, com discussões e debates, promovendo nos educandos a formação de opinião. Desse modo, a leitura pode aperfeiçoar a apreensão de termos e/ou conceitos científicos, tornando a aula colaborativa e promovendo nos alunos as habilidades leitora e escritora, melhorando o seu vocabulário e, assim, contribuindo para sua vida de forma geral.

Como alertam Salém e Kawamura (1996), dissertando a respeito das diferenças entre os meios de se comunicar os conteúdos de física, em especial os livros didáticos e os textos de divulgação científica, a “física tratada na escola” é vista como desinteressante e muitas vezes sem sentido, ao passo que a divulgação científica chama a atenção de seus adeptos (especialmente professores e alunos) e pode dar um novo fôlego ao ensino de física no Ensino Médio, ou seja, parte-se do pressuposto de que os Textos de Divulgação Científica (TDC), têm um grande potencial de ressignificar assuntos tratados em sala de aula, bem como trazer novos hábitos de leitura, pois oferecem uma abordagem diversa, sobretudo a ciência de fronteira que detém a atenção da grande mídia, com uma linguagem acessível e com pouco formalismo matemático. Assim:

A utilização da leitura desse tipo de texto, mediante uma abordagem que leve em consideração o caráter dinâmico e causador de uma metalinguagem favorecedora da compreensão do conteúdo e do entendimento de formas de expressão do conhecimento científico, pode colaborar no envolvimento significativo dos estudantes com o texto, o que pode promover o prazer em ler. (MENEGAT e WEBER, 2008, p. 3)

Nesse sentido, inicialmente, pretendemos lançar mão de possíveis critérios para a seleção dos TDC, bem como elencar possíveis estratégias de utilização deles para o ensino de física de partículas, buscando compreender como se dará a relação do educador e dos educandos com esse saber durante os processos de ensino aprendizagem. Em um segundo momento, pretende-se apresentar uma proposta de roteiro de Atividades de Ensino Aprendizagem que proporcione uma aprendizagem efetiva de conceitos de Física de Partículas selecionados para estudantes do Ensino Médio.

#### 4.1 Critérios de seleção de textos

Acreditamos que este seja um item crucial para o sucesso das atividades de ensino aprendizagem, pois a escolha de um TDC que atenda às expectativas de trabalho em sala não é trivial e deve se adequar às características inerentes à turma em que se vai desenvolver as atividades, ou seja: Quais os objetivos de leitura? Como será a relação texto-aluno? O tipo de difusão científica se aproxima do nível de competência da turma? A fonte do texto tem credibilidade?

Tentaremos aqui indicar possíveis critérios de seleção de textos de divulgação científica.

##### **As fontes dos TDC's têm credibilidade?**

Com o advento da internet, a acessibilidade a notícias e informações de naturezas diversas foi enormemente facilitada, tudo que se quer saber está a um clique de distância. Esse imediatismo se tornou um campo fértil para o aparecimento de novas formas e fontes de divulgação científica, a citar: portais, blogs, canais de vídeo (também conhecidos como vídeo blog) na plataforma YouTube, revistas e jornais impressos e eletrônicos, sites atrelados a laboratórios de pesquisa, podcasts etc.

Essa multiplicidade de fontes de notícias e divulgação de pesquisa e acontecimentos científicos enseja uma variação na qualidade do texto, a verossimilhança do conhecimento divulgado e a tradição do meio de comunicação em desenvolver esse tipo de trabalho.

Possíveis critérios de seleção, quanto à credibilidade das fontes:

- **Notórios conhecimento e competência científicos:** indicamos que as fontes de TDC precisam estar atreladas a periódicos impressos ou eletrônicos sob a tutoria de institutos de pesquisa, órgãos governamentais, instituições de ensino respeitadas (UERJ, UFABC, UFBA, UFMG, UFPE, UFRJ, UFRGS, UFRN, UNB, UNESP, UNICAMP, etc.), associações científicas (SBF, SBPC, ABRAPEC etc.), bem como as publicações

mantidas por agências de fomento à pesquisa como CNPq, CAPES, FAPESP, FAPERJ, FAPEMIG, etc. Essas publicações têm uma representatividade importante na comunidade científica e têm um interesse especial em difundir de maneira ilibada e precisa questões atreladas à científica.

- **Fontes atualizadas:** O desenvolvimento científico é dinâmico e incessante, ou seja, a ciência está acontecendo, expandindo a nossa compreensão do universo. Por conseguinte, cientistas e divulgadores publicam uma quantidade considerável de artigos por ano em diferentes áreas de investigação científica. Essa profusão de material de divulgação científica pode acarretar que fontes de artigos de cunho científico tornem-se desatualizadas se não forem alimentadas periodicamente.
- **Qualis:** Mantido pela CAPES, o *Qualis* representa um sistema empregado para avaliar a produção de periódicos utilizados por programas de pós-graduação para a divulgação da sua produção científica. A CAPES fornece uma lista com a classificação das publicações, a partir da análise feita por comitês de consultores de cada área do conhecimento e de critérios já estabelecidos, observando o grau de importância, qualidade e abrangência das produções. A partir desses critérios, o docente terá uma boa noção do quão crível é a publicação a ser selecionada, tendo em vista que a classificação imposta pelo *Qualis* tem um rigor importante e respeitado pelo meio acadêmico.
- **Citações:** Em geral, é comum e muito bem quisto que algumas publicações científicas deem crédito a pesquisas relacionadas ao tema apresentado, indicando uma série de citações. Conseqüentemente, podemos avaliar a qualidade e credibilidade do TDC a partir das fontes citadas. Possivelmente, um artigo científico que apresente citações primárias de grandes laboratórios ou outros artigos científicos de publicações com *Qualis* melhor classificado. Quanto melhor a qualidade (*Qualis*) nas citações de artigos de publicações científicas fornecidas, mais fiel será o retrato apresentado da ciência envolvida, o que não acontece com uma publicação permeada de referências desconhecidas, insuficientes ou inexistentes. Esse critério de seleção, além de ajudar a escolher o texto mais adequado para a atividade planejada, pode auxiliar na verificação das informações, bem como no aprofundamento de questões relacionadas ao tema tratado.

**Tipo de difusão científica: o texto possui uma linguagem adequada para o público alvo?**

A partir do Capítulo 1, em que delimitamos a nossa noção de divulgação científica, temos a clareza em afirmar que o sucesso na utilização de TDC's para ensinar Física está in-

timamente ligado à complexidade do texto escolhido para as atividades. Um Texto de Divulgação Científica reclama uma linguagem mais acessível a um público não especializado, porém nem sempre o divulgador é feliz em sua tarefa e o texto pode apresentar um léxico pouco agradável a um estudante do Ensino Médio.

Portanto, o critério de escolha de um texto necessita levar em consideração a adequação deste com o seu público alvo, isto é, o texto precisa ter uma linguagem que acolha os estudantes, que os façam se sentir confortáveis em lê-los e se percebam autônomos em construir uma compreensão própria.

### **O texto: Relações com o conteúdo e com o leitor**

Isabel Solé (2007) aponta em sua obra a importância de se ter clareza dos objetivos que irão balizar a leitura e como isso influencia a interpretação do leitor, sendo que essa interpretação não vem do texto, mas da relação que o educando estabelece entre o que se lê, seus conhecimentos prévios e, principalmente, a compreensão da linguagem expressa no texto. Assim, uma boa escolha de um TDC implica uma relação texto-aluno mais amistosa, em que o aluno se sente apto e encorajado a ler e compreender o texto de forma autônoma ou com intervenções sutis do professor ou dos seus pares (SOLÉ, 2007).

O aluno é, em tese, um leitor “consciente do que entende e do que não entende”. Desse modo, a sua compreensão de um conteúdo por meio da leitura de TDC é o resultado, também, da “clareza e coerência do conteúdo dos textos, da familiaridade ou conhecimento da sua estrutura e do nível aceitável do seu léxico, sintaxe e coesão interna.” (SOLÉ, 2007, p. 70).

Isso posto, com o texto escolhido a partir dos critérios de seleção elencados acima, o nosso próximo passo é conceber um formato para a construção dos roteiros.

## **4.2 Roteiros**

A nossa proposta de roteiro de atividades de ensino aprendizagem (produto educacional) tem por objetivo oferecer subsídios aos professores de física para uma nova prática de ensino, para além da resolução mecânica de situações problema apresentadas nos livros didáticos, mas uma prática que fomente a formação crítica nos educandos, na qual eles sejam capazes de aprender de forma autônoma a partir dos textos propostos, isto é, que a leitura se torne uma ação prazerosa e “automotivada”. O professor, segundo Solé (2007), por sua vez, deve assumir um papel de mediador que incentiva o protagonismo do aluno frente à atividade proposta, sempre levando em consideração a complexidade que caracteriza a leitura, como também a maturidade dos educandos envolvidos nesse processo.

Seguindo a fala de Solé (2007), cada atividade de leitura deve ser balizada por três preceitos: as atividades “antes da leitura”, que passam pela motivação para a leitura, ou seja, segundo a autora “[...] nenhuma tarefa de leitura deveria ser iniciada sem que as meninas e meninos se encontrem motivados para ela, sem que esteja claro que lhe encontram sentido” (SOLÉ, 2007, p. 91), sendo este, portanto, o momento de se estabelecer os objetivos para a leitura. As atividades “durante a leitura”, que proporcionam o momento de construir a compreensão do texto no momento da sua leitura, ou seja, para que “[...] o leitor possa estabelecer previsões coerentes sobre o que está lendo, que as verifique e se envolva em um processo ativo de controle da compreensão.” (SOLÉ, 2007, p. 118). E, por fim, as atividades “depois da leitura”, que devem permitir aos estudantes a “identificação da ideia principal, elaboração de resumo e formulação de respostas e perguntas” (SOLÉ, 2007, p. 133), além de lhes permitir confrontar os seus conhecimentos iniciais (se for o caso) com o conteúdo apreendido depois da leitura do texto, fazendo uma síntese das ideias centrais do texto em questão.

O processo de avaliação sugerido segue a tríade: avaliação inicial, avaliação formativa e avaliação somativa. Para Solé (2007):

“[...] o que se propõe para ensinar é partir de onde está o aluno, garantir que a tarefa de aprendizagem constitua um desafio ao seu alcance, intervir de tal forma que se possa proporcionar a ajuda necessária e constatar que progressivamente, ele pode usar com competência as estratégias ensinadas de forma autônoma.” (SOLÉ, 2007, p.164)

A **avaliação diagnóstica**, de natureza investigativa, dar-nos-á elementos de como os educandos, ao lerem os TDC, colocam-se diante do tema abordado e se o aluno apresenta ou não habilidades, competências e pré-requisitos para as atividades de ensino aprendizagem propostas. Essa avaliação deve acontecer no início<sup>16</sup> das atividades a fim de fornecer elementos que indiquem as condições em que o processo de ensino-aprendizagem vai acontecer, assim o professor poderá planejar ou replanejar as suas ações durante as atividades propostas. A **avaliação formativa**, com um caráter quantitativo, vai apoiar e nos dar subsídios que indiquem, à medida que as atividades de ensino aprendizagem forem realizadas, o quanto os estudantes estão alcançando os objetivos propostos pelas estratégias de leitura. Dessa forma, ava-

---

<sup>16</sup> Nada impede, na busca de um processo avaliativo mais eficiente, que a avaliação diagnóstica seja utilizada durante as atividades de ensino aprendizagem.

liaremos o quanto os educandos avançam a cada etapa das atividades propostas, indicando possíveis avanços e/ou retrocessos subsequentes aos processos de ensino-aprendizagem, oportunizando ao professor identificar dificuldades de aprendizagem e deficiências na forma de ensinar. A **avaliação somativa**, com um viés quantitativo, tem como principal incumbência indicar os níveis de aproveitamento previamente estabelecidos, contribuindo na apresentação de resultados mais abrangentes obtidos ao final da atividade de ensino aprendizagem apresentada, bem como outorgar os resultados alcançados, atribuindo-lhes uma nota.

A nossa sugestão é que a leitura de TDC, com vistas ao envolvimento dos educandos durante os processos de ensino aprendizagem, seja articulada com essas estratégias de leitura para facilitar a aprendizagem de conceitos básicos de Física de Partículas no Ensino Médio por meio de textos de divulgação científica tendo como temas: os constituintes da matéria, cromodinâmica quântica, e o plasma de quarks e glúons. A estratégia didática utilizada foi a organização de atividades sequenciais compostas de 5 (cinco) aulas com duração de 45 (quarenta e cinco) minutos cada, com 5 (cinco) atividades e devem ser aplicadas a estudantes do terceiro ano do Ensino Médio.

## Capítulo 5: Elaboração e apresentação do produto educacional

A partir dos critérios elencados na seção anterior, vamos agora falar um pouco sobre os processos de seleção dos textos de divulgação científica. O nosso primeiro passo foi seguir o primeiro critério e fazer uma investigação em um site de busca (google.com e <https://scholar.google.com.br/>) com o tema escolhido para ser trabalhado em sala (no caso escolhemos abordar o plasma de quarks e glúons) e, posteriormente, submetemos os textos selecionados aos critérios de seleção: Notórios conhecimento e competência científicos, Fontes atualizadas, *Qualis* e Citações.

Após o período de pesquisa, chegamos a uma relação contendo 13 textos de divulgação científica selecionados.

- 1) “Interação colorida no mundo dos quarks”.

Fonte: <http://www1.fisica.org.br/fne/phocadownload/Vol05-Num2/v5n1a091.pdf>

- 2) “Sobre o Discreto Charme das Partículas Elementares”.

Fonte: <http://www.sbfisica.org.br/fne/Vol6/Num1/charme.pdf>

- 3) “Chip das colisões de partículas”.

Fonte: <https://revistapesquisa.fapesp.br/2017/03/17/chip-das-colisoes-de-particulas/>

- 4) “Sopa’ primordial”.

Fonte: [https://revistapesquisa.fapesp.br/wp-content/uploads/2013/11/054\\_057\\_Book\\_214.pdf](https://revistapesquisa.fapesp.br/wp-content/uploads/2013/11/054_057_Book_214.pdf)

- 5) “Nos primeiros instantes”.

Fonte: <https://revistapesquisa.fapesp.br/2010/03/27/nos-primeiros-instantes/>

- 6) “Ponto de Encontro”.

Fonte: <https://revistapesquisa.fapesp.br/2008/05/01/ponto-de-encontro/>

- 7) “LHC - O que é, para que serve e como funciona”.

Fonte: <http://www.sbfisica.org.br/fne/Vol12/Num1/lhc.pdf>

- 8) “Novo modelo ajuda a entender a dinâmica do plasma de quarks e glúons”.

Fonte: <http://agencia.fapesp.br/novo-modelo-ajuda-a-entender-a-dinamica-do-plasma-de-quarks-e-gluons/25084/>

- 9) “Plasma de quarks e glúons pode ser descrito por buraco negro pentadimensional”

Fonte: <http://agencia.fapesp.br/plasma-de-quarks-e-gluons-pode-ser-descrito-por-buraco-negro-pentadimensional/22540/>

- 10) “Partículas e Interações”.

Fonte: <http://www.sbfisica.org.br/fne/Vol5/Num2/v5n1a03.pdf>



11) “Além do Modelo Padrão”.

Fonte: <https://revistapesquisa.fapesp.br/2016/03/21/alem-do-modelo-padrao/?cat=ciencia>

12) “Cientistas recriam primeiros microssegundos da matéria após o Big Bang”.

Fonte: <https://revistagalileu.globo.com/Ciencia/Espaco/noticia/2018/12/cientistas-recriam-primeiros-microssegundos-da-materia-apos-o-big-bang.html>

13) “Matéria efêmera”.

Fonte: <https://revistapesquisa.fapesp.br/2002/11/01/materia-efemera/>

Logo em seguida, sujeitamos essa lista ao nosso segundo critério que busca perceber se os textos atendem aos critérios pré-estabelecidos para a escola. Desse modo, escolheremos um texto que seja adequado ao público alvo, isto é, o texto deve oferecer um vocabulário que acolha os estudantes, com o qual eles se sintam encorajados em lê-lo e se percebam autônomos em construir uma compreensão própria. Assim, precisamos verificar se o texto possui relação clara e objetiva com o conteúdo pretendido e, novamente, se a forma de tratar o conhecimento é adequada ao leitor alvo.

#### **As fontes dos TDC’s têm credibilidade?**

Todos os textos apresentam fontes confiáveis, pois foram veiculados em publicações que estão vinculadas a importantes instituições que vão desde associações representantes de classe como SBF até agências de fomento à pesquisa como a Revista FAPESP. Porém, na busca por um texto que abordasse o tema pretendido e pela boa qualidade dos textos selecionados, acabamos abrindo mão do subcritério “Fontes atualizadas” e todos os textos foram aprovados, inclusive dois artigos publicados na década passada (um de 2005 e outro de 2008).

#### **Tipo de difusão científica: o texto possui uma linguagem adequada para o público alvo?**

Os textos serão trabalhados com alunos da 3ª série do Ensino Médio, portanto não podemos apresentar um texto com uma linguagem muito técnica, com muitas equações ou muito longos. Buscamos, a partir deste critério, escolher um texto que apresentasse o tema procurado e com uma linguagem acessível e que apresentasse uma discussão conceitual acerca do assunto. Desse modo, descartamos os textos 1, 5, 8, 10, 11.

#### **O texto: Relações com o conteúdo e com o leitor**

Acreditamos que os textos devem desencadear um interesse pelo assunto discutido em sala e que os educandos se engajem a procurar outras fontes para aprofundar o conhecimento ali divulgado. Assim, escolhemos os textos 2, 3, 4 e 6, pois acreditamos que eles têm o potencial necessário para proporcionar uma leitura prazerosa e, ao mesmo tempo, trazer os concei-

tos centrais para ensinarmos conceitos de física de partículas a partir do plasma de quarks e glúons.

Entendemos que essa sequência de ações tem uma razão de ser para se fazer a melhor escolha possível, no entanto, esses critérios não são fixos, e o leitor pode inverter a ordem a sua escolha ou até mesmo abrir mão de um ou outro critério de seleção dos textos. Talvez faça mais sentido fazer uma busca por textos a partir do critério “Relações com o conteúdo e com o leitor” para coletar a maior quantidade de títulos possível a fim de, posteriormente, analisar as escolhas a partir dos outros dois critérios.

Já com os textos em mãos, voltamos as nossas atenções para a elaboração do produto. Em vista disso, dividimos o nosso trabalho em duas fases:

- 1) 1ª Fase: pré-elaboração dos roteiros de atividade de leitura que será aplicada em sala de aula;
- 2) 2ª fase: posteriormente à aplicação das atividades, de posse dos dados coletados, podemos reelaborar os roteiros propostos, melhorando-os a partir da análise dos prós e contras vivenciados durante a aplicação da proposta. E como produto, deixaremos quatro atividades para utilizar textos de divulgação científica em sala de aula.

Na próxima seção, faremos uma descrição do que se trata a nossa proposta e sua organização de trabalho a partir das ideias de Isabel Solé (2007).

### **5.1 O que é esse roteiro? Qual é a proposta?**

Como já foi destacado, o nosso trabalho tem a intenção de ensinar Física a partir de atividades de leitura de texto de divulgação científica e, para tanto, construímos um plano de ações que organize o trabalho do professor durante a aplicação dessas atividades de leitura em sala de aula.

Desse modo, adotando as orientações de Solé (2007), idealizamos a construção de um modelo generalizado das atividades de leitura para abordar os textos de divulgação científica, dividido em três momentos: 1) *antes da leitura*, que é o período de escolha dos textos a partir de uma série de critérios previamente estabelecidos, bem como a elucidação dos objetivos para melhor motivar os alunos para a leitura; 2) *durante a leitura*, momento em que criamos situações para que os alunos se envolvam no processo de construção da própria compreensão do texto proposto; 3) *depois da leitura*, momento de confrontar os seus conhecimentos prévios sobre o assunto (se for o caso) com o conteúdo apreendido depois da leitura do texto.

Isso posto, abordaremos nas próximas páginas como funciona esse modelo mais geral, porém, cabe chamar a atenção do caro leitor para o fato de que esse modelo não é fixo e deve ser adaptado para a realidade do contexto social das turmas em que as atividades serão utilizadas.

### **5.1.1 Descrição das etapas das atividades de ensino aprendizagem**

A seguir, temos uma breve descrição dos momentos antes, durante e depois da leitura:

#### **i. Antes da leitura**

- **Seleção do texto:** Nessa etapa, segundo os critérios de seleção indicados anteriormente, o docente deve escolher quais textos atendem às demandas de aprendizagem. Desse modo, propusemos um questionário para sistematizar uma análise do seu grau de concordância e preferência e se o texto possui os critérios de seleção que o docente espera. Propusemos algumas perguntas para que o texto pretendido fosse analisado, a fim de buscar perceber se ele tem as características desejadas:

1. O texto apresenta uma linguagem de fácil entendimento? Ou seja, o texto é adequado para a turma com a qual se pretende trabalhar?
2. A fonte tem notória tradição em tratar o referido tema escolhido?
3. A fonte do TDC é confiável, isto é, está atrelada a uma publicação que tem competência a respeito do tema tratado?
4. O tema abordado é verossímil?
5. A publicação:
  - a) Se for um periódico, apresenta a classificação *Qualis* da CAPES?
  - b) Se for um site, um blog ou mesmo um podcast, é preciso verificar se a página pertence a um centro de pesquisa ou universidade e/ou se faz parte de projetos desenvolvidos nesses locais.
6. As fontes secundárias apresentadas durante o texto são confiáveis?
7. O texto é visualmente atraente?
8. O texto é atual?

- **Introdução:** Apresentação dos objetivos da atividade a serem desenvolvidas em sala e como será o desenvolvimento da proposta, incluindo o processo de avaliação de rendimento. Em um segundo momento, deve-se entregar o texto impresso para que os

alunos possam levar para casa e fazer um apanhado geral do contexto do artigo indicado para leitura e a sua importância.

- Conceitos de Física: O docente deve expor aos educandos quais conceitos serão abordados a partir do TDC.
- Antecipação de conteúdo: será solicitado que os alunos façam a leitura do texto, bem como a formulação de perguntas curtas a respeito dele. Essas questões servirão de estímulo para a verificação dos objetivos da atividade de leitura e podem ser formuladas tanto pelos educandos quanto pelo docente. E podem ser do tipo: Qual o assunto da leitura? Qual o objetivo dessa leitura? Qual a relevância das informações do texto para o tema tratado?

Tempo de duração: A atividade deve ocupar uma aula de 45 minutos.

#### **ii. Durante a leitura**

- Atividade 1: Dividir os estudantes em grupos de até quatro alunos (“organização social da sala de aula” (SOLÉ, 2007, p. 81)). Os grupos devem organizar as questões formuladas em casa para que sejam feitas, primeiramente, aos seus pares e na ausência de resposta o professor deve intervir. A todo momento, deve-se permitir e valorizar a manifestação dos alunos em relação ao que foi lido, sendo esse um passo importante para que eles saiam do “achismo” e consigam expressar suas opiniões com um bom embasamento.

Tempo de duração: A atividade deve ocupar duas aulas de 45 minutos cada uma.

- Atividade 2: O professor deve, ao fim das discussões, ministrar uma aula expositiva utilizando uma apresentação de *slides*, retomando os conceitos presentes no texto e que já foram discutidos, sempre estimulando a discussão entre os educandos. Ainda em grupo, os estudantes devem elaborar um resumo (síntese ou fichamento) a respeito dos conceitos centrais do texto.

Tempo de duração: A atividade deve ocupar duas aulas de 45 minutos cada uma.

#### **iii. Depois da leitura**

- Avaliação: Indicamos que o processo de avaliação de desempenho dos estudantes seja desenvolvido ao longo da construção e desenvolvimento das atividades de ensino aprendizagem, isto é, de maneira contínua, a partir do desenvolvimento das atividades de ensino aprendizagem com os TDC (tarefas desenvolvidas coletiva e

individualmente, situações de sala de aula a partir do TDC distribuído em sala, registros do professor). Porém, também acreditamos na necessidade de uma avaliação somativa, individual ou em grupo, como fechamento de cada atividade, em que deverão ser indicadas questões e/ou situações que possibilitem identificar o grau de compreensão dos conteúdos abordados durante as atividades e que podem evidenciar a apreensão de significados e a autonomia na aprendizagem.

Há de se ter em mente que o processo avaliativo não se encerra em uma “prova” do TDC, mas em uma verificação de como os educandos se colocam frente ao texto proposto, como eles emitem opinião fundamentada no TDC. Como forma de incentivar o protagonismo dos educandos, também indicamos a realização de uma avaliação em grupo ao final de um conjunto de atividades, na qual os alunos devem produzir um material de divulgação a partir dos artigos apresentados a eles. A escolha desse material ficaria a cargo do grupo, mediante a disponibilização de TDC por parte do professor. Já a idealização da modalidade do trabalho fica a cargo dos alunos e poderia ser composta de diferentes mídias como, por exemplo: uma videoaula, documentário, folhetim, um artigo, etc.

## **5.2 Uso de TDC para abordar física de partículas baseados em roteiros educacionais**

A partir disso, esse roteiro tem o objetivo de trabalhar quatro textos de DC para ensinar conteúdos de Física de partículas. Os textos selecionados foram:

**Texto 1: Ponto de encontro** – publicado pela revista “Pesquisa Fapesp”, em maio de 2008 e de autoria do jornalista especializado em divulgação científica Ricardo Zorzetto (2008), o texto em questão foi escolhido como introdução ao tema Física de Partículas, fazendo um ótimo relato sobre início das operações do Large Hadron Collider (LHC), dá a devida dimensão desse empreendimento e, da mesma maneira, consegue apresentar os princípios de funcionamento de um acelerador de partículas.

**Texto 2: Sobre o Discreto Charme das Partículas Elementares** – publicado no volume 6, em maio de 2005, da revista Física na Escola e de autoria da professora e divulgadora Maria Cristina Batoni Abdalla Ribeiro (2005), autora de um livro homônimo, é um texto harmonioso, denso e de fácil leitura. A autora, utilizando figuras divertidas, apresenta os conceitos relacionados às partículas elementares que compõem a matéria ajudando a desvendar o Modelo Padrão de partículas e quais são as perspectivas de avanço e elucidação de mistérios dessa teoria. Com esse texto, temos o objetivo de discutir os critérios de classificação das partículas e, principalmente, abordar o modelo padrão.

**Texto 3: “Sopa” primordial** – publicado em novembro de 2013 pela revista Pesquisa Fapesp e produzido pelo jornalista e divulgador Igor Zolnerkevic (2013), trata, com um texto de linguagem acessível e com boas ilustrações, o Plasma de Quarks e Glúons e a participação brasileira em pesquisas desenvolvidas no acelerador de partículas LHC no CERN. O presente texto tem o perfil de apresentar o conteúdo com maior profundidade, o que veio ao encontro da intenção de abordar os conceitos relacionados à cromodinâmica quântica e o plasma de quarks e glúons.

**Texto 4: Chip das colisões de partículas** – também publicado em março de 2017 pela revista Pesquisa Fapesp e produzido pelo jornalista Evanildo da Silveira (2017), o texto nos apresenta um relato do esforço brasileiro, a partir do trabalho desenvolvido por pesquisadores da Universidade de São Paulo (USP), Universidade Estadual de Campinas (Unicamp) e Instituto Tecnológico de Aeronáutica (ITA) em desenvolver um chip denominado Sampa para atender a uma demanda do LHC no CERN para aumentar a capacidade do detector ALICE de processar uma quantidade maior de colisões.

Foram propostos nesse contexto os roteiros de atividades de leitura, organizados como apresentaremos a seguir.

### **Roteiro 1: Ponto de encontro**

Para esta atividade de ensino aprendizagem, o texto escolhido foi “Ponto de encontro”. A partir da nossa escolha, construímos a seguinte abordagem em sala e seguimos a seguinte estrutura de organização para a utilização do texto selecionado.

#### ***Antes da leitura***

- **Introdução:** A atividade proposta tem o objetivo de apresentar a necessidade da construção de um acelerador de partículas, os tipos de aceleradores e, por fim, apresentar de forma geral e abrangente o LHC e seus experimentos, ALICE, ATLAS, CMS E LHCb. A atividade terá uma duração de quatro aulas, nas quais faremos uma dinâmica com perguntas e respostas elaboradas pelos alunos, elaboração de um resumo do artigo em grupo. A avaliação será contínua e será composta pelas atividades desenvolvidas em sala e em casa.
- **Conceitos de Física:** Evolução dos modelos atômicos, tipos de aceleradores, o LHC e os princípios de funcionamento dos seus experimentos (ALICE, ATLAS, CMS E LHCb).

- Antecipação de conteúdo: os alunos devem ler o texto “Ponto de encontro”, fora do horário de aula, tendo como tarefa a formulação de perguntas curtas a respeito do texto.

Tempo de duração: A atividade deve ocupar uma aula (45 minutos).

### ***Durante a leitura***

- Atividade 1: Dividir os estudantes em grupos de até quatro alunos (“organização social da sala de aula” (SOLÉ, 2007, p. 81)). Os grupos devem organizar as questões formuladas em casa para que sejam feitas, primeiramente, aos seus pares e na ausência de resposta o professor intervir.

Tempo de duração: A atividade deve ocupar uma aula (45 minutos).

- Atividade 2: O professor deve, ao fim das discussões, ministrar uma aula expositiva utilizando uma apresentação de *slides*, retomando os conceitos presentes no texto e que já foram discutidos, sempre estimulando a discussão entre os educandos. Ainda em grupo, os estudantes devem elaborar um resumo (síntese ou fichamento) a respeito dos conceitos centrais do texto.

Tempo de duração: A atividade deve ocupar duas aulas (90 minutos).

### ***Depois da leitura***

- Avaliação: Dar-se-á de maneira contínua, a partir do desenvolvimento das atividades de ensino aprendizagem com os TDC (elaboração de perguntas, debate das possíveis repostas para as perguntas a partir do TDC distribuído em sala e o resumo/síntese). Ao final da primeira atividade, será proposto como atividade avaliativa somativa um questionário em formato de quis, utilizando a plataforma kahoot (<https://kahoot.it/>) para deixar a atividade mais dinâmica e interativa.

## **Roteiro 2: Sobre o Discreto Charme das Partículas Elementares**

Para essa atividade de ensino aprendizagem, o texto escolhido foi o “Sobre o Discreto Charme das Partículas Elementares”. Já com o texto em mãos, desenvolvemos a seguinte abordagem em sala e desenvolvemos as seguintes estruturas e organização para a utilização do texto selecionado.

### ***Antes da leitura***

- Introdução: A atividade proposta tem o objetivo de apresentar o Modelo Padrão aos estudantes, bem como discutir a sua construção e o arcabouço

teórico que o envolve. A atividade terá uma duração de quatro aulas, nas quais faremos, individualmente, a elaboração de uma síntese do artigo e um debate guiado por perguntas elaboradas pelo professor. Além disso, faremos, em dupla, um mapa conceitual sobre o tema abordado. A avaliação será contínua e será composta pelas atividades desenvolvidas em sala e em casa.

- Conceitos de Física: Partículas elementares, interações fundamentais e o Modelo Padrão das Partículas elementares.
- Antecipação de conteúdo: os alunos devem ler o texto “Além do Modelo Padrão”, fora do horário de aula, tendo como tarefa a elaboração de uma síntese a respeito dos conceitos centrais presentes no texto.

Tempo de duração: A atividade deve ocupar uma aula. (45 minutos)

#### ***Durante a leitura***

- Atividade 1: Esta etapa deve ser iniciada com uma discussão aberta, mediada pelo professor, a respeito do conteúdo abordado no texto, a fim de estimular a curiosidade e ouvir a opinião do grupo sobre o assunto. Sem uma resposta definitiva, podemos fazer as seguintes questões:
  - 1) Do que são feitas as coisas? O que as mantém unidas?
  - 2) Quais os constituintes da matéria ordinária?
  - 3) Qual a constituição básica de um núcleo?
  - 4) Descreva como o núcleo atômico foi descoberto por Rutherford.
  - 5) O que é a energia de ligação dos núcleos e como ela varia para os vários núcleos existentes na natureza?

Essas questões devem ser respondidas e entregues ao final da aula.

Tempo de duração: A atividade deve ocupar uma aula. (45 minutos)

- Atividade 2: O professor deve, ao final das discussões, ministrar uma aula expositiva utilizando uma apresentação de *slides*, retomando os conceitos presentes no texto e que já foram discutidos, sempre estimulando a discussão entre os educandos.

Tempo de duração: A atividade deve ocupar duas aulas. (90 minutos)



### ***Depois da leitura***

- Avaliação: Dar-se-á de maneira contínua, a partir do desenvolvimento das atividades de ensino aprendizagem com os TDC (elaboração de perguntas, debate das possíveis repostas para as perguntas a partir do TDC distribuído em sala e o resumo/síntese). Será realizada uma avaliação final em dupla, na qual os alunos devem produzir uma releitura do mapa conceitual apresentado na aula expositiva (página 19 da apresentação de *slides*).

### **Roteiro 3: “Sopa” primordial**

Para esta atividade de ensino aprendizagem, o texto escolhido foi “Sopa’ primordial”. A partir da nossa escolha, construímos a seguinte abordagem em sala e seguimos a seguinte estrutura e organização para a utilização do texto selecionado.

#### ***Antes da leitura***

- Seleção do texto: Para esta atividade de ensino aprendizagem, o texto escolhido foi “Sopa’ primordial”. Esse é um TDC produzido pelo divulgador Igor Zolnerkevic que trata, com um texto de fácil leitura e com ilustrações, do Plasma de Quarks e Glúons e a participação brasileira em pesquisas desenvolvidas no acelerador de partículas LHC no CERN.
- Introdução: A atividade proposta tem o objetivo de apresentar os conceitos relacionados ao Plasma de Quarks e Glúons, bem como analisar os avanços na sua pesquisa.
- Conceitos de Física: o Plasma de Quarks e Glúons, Física de altas energias e o experimento ALICE no LHC.
- Antecipação de conteúdo: os alunos devem ler o texto “Sopa’ primordial”, fora do horário de aula, tendo como tarefa a formulação de perguntas curtas a respeito do texto.

Tempo de duração: A atividade deve ocupar uma aula. (45 minutos)

#### ***Durante a leitura***

- Atividade 1: Dividir os educandos em grupos de até quatro alunos (“organização social da sala de aula” (SOLÉ, 2007, p. 81)). Os grupos devem organizar as questões formuladas em casa para que sejam feitas, primeiramente, aos seus pares e na ausência de resposta o professor deve intervir.

Tempo de duração: A atividade deve ocupar uma aula. (45 minutos)

- Atividade 2: O professor deve, ao fim das discussões, ministrar uma aula expositiva utilizando uma apresentação de *slides*, retomando os conceitos presentes no texto e que já foram discutidos, sempre estimulando a discussão entre os educandos. Ainda em grupo, os estudantes devem elaborar um resumo (síntese ou fichamento) a respeito dos conceitos centrais do texto.

Tempo de duração: A atividade deve ocupar duas aulas. (90 minutos)

### ***Depois da leitura***

- Avaliação: Dar-se-á de maneira contínua, a partir do desenvolvimento das atividades de ensino aprendizagem com os TDC (elaboração de perguntas, debate das possíveis repostas para as perguntas a partir do TDC distribuído em sala e o resumo/síntese). Ao final da atividade quatro, será proposta como atividade avaliativa somativa, uma avaliação individual por meio de questões abertas envolvendo o tema exposto no texto.

Ainda é importante salientar que o texto 4, “Chip das colisões de partículas”, não foi apresentado no rol de atividades de leitura planejadas para promover o engajamento dos alunos para o conhecimento da física moderna e contemporânea, especialmente a física de partículas. Tal fato se justifica, pois durante a aplicação do nosso produto tivemos alguns percalços (problemas com as gravações dos debates, atividade na escola que comprometeu o andamento da aula, etc.). No entanto, disponibilizaremos o roteiro de atividade para esse texto juntamente com os outros roteiros no apêndice A.

Ao fim dos processos de ensino aprendizagem, o professor deverá ter elementos que indiquem se os educandos tiveram uma compreensão significativa dos conteúdos trabalhados em sala, respondendo às seguintes questões:

- **O aluno entendeu as ideias gerais do texto?**
- **O aluno conseguiu associar os conhecimentos científicos com a abordagem textual?**
- **O aluno conseguiu trabalhar com os textos autonomamente?**

Em resumo, essas propostas de atividades de leitura buscaram implementar os textos de divulgação científica de forma não aleatória, baseadas em objetivos pedagógicos idealizados por nós a partir da ideia da divulgação científica como fronteira e a teoria de ensino aprendizagem por descobrimento baseado nas ideias de Bruner. Conforme observamos, para o

bom andamento do trabalho, definiu-se a constituição de um conjunto de ações que organizem as atividades de leitura para que o professor possa trabalhar. Portanto, no próximo capítulo, vamos apresentar e analisar os dados coletados durante a aplicação dos roteiros de atividades de leitura, para logo em seguida apresentarmos uma sistematização de um produto educacional que apresente esses roteiros, assim como uma organicidade de trabalho com a utilização deles.

## Capítulo 6: Análise de resultados

Para ficar satisfeito, o homem deve também ter a possibilidade de desenvolver seus poderes intelectuais e artísticos, na medida em que corresponda às suas características e habilidades pessoais.

Abert Einstein

Com uma metodologia essencialmente qualitativa, buscamos analisar as especificidades das gravações das discussões e compreender a subjetividade dos discursos apresentados pelos objetos de pesquisa. Com esse intento, todas as discussões foram transcritas *ipsis litteris*, garantindo que a identidade dos pesquisados fossem mantidas anônimas. Foram realizadas correções gramaticais e supressão de repetições nas transcrições aqui apresentadas para tornar a leitura mais clara e objetiva possível.

Procurou-se tratar os dados a partir de uma perspectiva que pudesse apresentar, de maneira honesta, uma reflexão que contribuísse na construção de um ideário a respeito do engajamento dos alunos na busca pelo conhecimento de física de partículas em textos de divulgação científica. Sempre seguindo os preceitos da sociologia de Pierre Bourdieu, buscaremos apresentar o engajamento dos educandos e a partir das disputas entre os campos científico e escolar, que encontram na DC o seu lugar de disputa (WATANABE, 2015).

Para a análise dos resultados, foi utilizado o referencial da Análise de Conteúdo, seguindo os preceitos de Laurence Bardin, que se resume a:

Um conjunto de técnicas de análise das comunicações visando obter, por procedimentos, sistemáticos e objetivos de descrição do conteúdo das mensagens, indicadores (quantitativos ou não) que permitam a inferência de conhecimentos relativos às condições de produção/recepção (variáveis inferidas) destas mensagens (BARDIN, 2002, p. 42).

Dessa forma, em uma perspectiva de demonstração das relações entre o fenômeno observado e as possíveis interpretações da realidade vivida pelos pesquisados, buscamos descrever, em um primeiro momento, de maneira objetiva, os depoimentos dos entrevistados e, posteriormente, analisar o material coletado, buscando compreender a realidade vivida pelos pesquisados e extrair o que encontramos de mais relevante, bem como perceber os condicionantes que podem ter induzido o discurso dos pesquisados.

Assim como indica Bardin, foram organizadas três etapas cronológicas de trabalho: “1) a pré-análise, 2) a exploração do material e 3) o tratamento dos resultados, a inferência e a interpretação” (BARDIN, 2002, p. 95).

## 6.1 Pré-análise

Antes de qualquer julgamento ou análise, precisamos ter o primeiro contato com o material coletado e fazer uma “leitura flutuante” (BARDIN, 2002, p. 96), conhecer o material objeto de estudo e organizar a nossa sequência de trabalho, bem como sistematizar procedimentos a serem utilizados durante a análise dos dados.

Durante a escolha das transcrições, optou-se por selecionar 4 áudios para análise referentes aos textos 1 (2 áudios), texto 2 (1 áudio) e texto 3 (1 áudio) que fornecem ao leitor um panorama fiel do contexto social em que se deu a tomada de dados e um universo de informações que dialogam com o objetivo de pesquisa.

Os critérios de seleção para esses áudios referem-se à qualidade do som, o perfil de debate dos alunos e exclusividade do discurso. A qualidade do som está intimamente ligada à maneira como ocorreu a tomada de dados e dependia da habilidade do participante com a utilização do gravador de voz do aparelho celular e por isso alguns áudios ficaram prejudicados. O perfil de debate dos alunos nos remete à representatividade e à pertinência na fala dos educandos e como esse material se adapta ao conteúdo e aos objetivos da pesquisa. Já a exclusividade dos discursos nos indica a singularidade dos dados coletados e que os principais elementos da alocação dos pesquisados podem compartilhar as mesmas dimensões de engajamento, mas não podem ser classificados em uma mesma categoria ou nível de discurso.

Encontraram-se, a partir dos dados coletados, diferentes tipos de entendimentos dos educandos a respeito do problema apresentado e das dimensões de engajamento dos alunos que foram divididas sob duas perspectivas:

- 1) Perspectiva do conhecimento científico
  - a. Engajamento para a compreensão da natureza da ciência, em que se percebeu um envolvimento dos alunos para querer saber mais sobre o assunto tratado no texto lido, ou seja, eles apresentaram um desejo (ou anseio) em apreender as diferentes conexões que nos levam a um determinado conhecimento científico.
  - b. Engajamento para o entendimento do conteúdo, em que os participantes da pesquisa exibiram uma propensão em tentar compreender o conteúdo apresentado no texto, do mesmo modo que, com definições e enunciações de conceitos e leis, também buscaram ter um entendimento de um conteúdo como, por exemplo, o princípio de exclusão de Pauli.
- 2) Perspectiva da produção da ciência
  - Engajamento para compreender o funcionamento do experimento, sendo o LHC uma das construções mais importantes já feitas pelo ser humano. Os alunos manifestaram interesse

em interpretar os princípios de funcionamento dos aceleradores de partículas e de entender as particularidades dos experimentos ali desenvolvidos.

- Engajamento para a explicação/construção do pensamento científico. Nessa categoria percebemos que as falas dos pesquisados demonstraram uma percepção de algumas possíveis hipóteses que talvez tenham norteadas aceções cunhadas pelos cientistas.

A partir da identificação dessas perspectivas, das duas dimensões de engajamento correspondentes, o nosso trabalho tem o objetivo de identificar os trechos das transcrições selecionadas, para uma posterior análise dos discursos dos alunos e do diálogo destes com o texto, das suas relações com a física de partículas. E, por fim, com a clarificação dos principais elementos que deverão nos instrumentalizar para uma devida reflexão a respeito das potencialidades do fenômeno observado.

Com vistas a deixar a leitura mais agradável e de fácil entendimento, optamos por fazer o tratamento dos resultados brutos lançando mão de uma reflexão a respeito de cada recorte relatado no fim de cada apresentação. O tratamento dessas informações nos dará subsídios para elencarmos os resultados obtidos, os possíveis significados destes e o quanto eles são válidos para o nosso objeto de pesquisa.

## 6.2 Exploração do material e tratamento dos resultados

Balizados pelas operações desenvolvidas na pré-análise, agora iremos partir para o tratamento das transcrições coletadas e identificar as dimensões de engajamento dos alunos nos áudios coletados. É importante salientar que, nessa fase, os alunos já participaram do “**antes da leitura**” e se encontram no momento “**durante a leitura**”. Tal situação se relaciona com o momento em que os alunos debatem coletivamente as questões formuladas no “**antes da leitura**” e “**durante a leitura**” do texto para poderem compartilhar, posteriormente, com a turma e o professor.

Assim, a transcrição indica os debates que os estudantes estão tendo para escolher tais questões e serve como balizador para compreender em que medida o uso de TDC's pode ajudar no engajamento e na prática coletiva de debate sobre a ciência.

### **Análise do Texto 1: LHC - Ponto de encontro**

#### **Categoria: Engajamento para a Compreensão da Natureza da Ciência**

A partir da proposta em sala de aula, percebeu-se que o texto teve importante papel para o interesse dos alunos para o aprofundamento do experimento LHC que aparece no texto

de divulgação. Assim, mostrou-se necessário a procura dos alunos por material fora do ofertado pelo docente.

No primeiro texto, que apresenta um relato do início das operações do LHC no CERN, dos principais experimentos contidos no acelerador e a participação financeira e intelectual do Brasil nesse projeto, podemos perceber um diálogo entre o Aluno 1 e a Aluna 3 da terceira série A (Grupo 3<sup>a</sup> A).

**Aluna 3:** Uma dessas foi porque o C-E-R-N quer que o acelerador de partículas seja 4 vezes maior do que o de Genebra? A resposta foi simples. A expectativa do C-E-R-N é que o nosso, é que o novo colisor tenha poder suficiente para que consigam estudar com mais precisão a partícula de Deus e outras questões fundamentais para compreender o universo. Para que isso aconteça, a construção precisa de uma autorização das autoridades europeias. Se isso acontecer, a previsão é que o equipamento seja entregue em 2040. E também, é... ao longo... teve a terceira pergunta, que levantou uma dúvida de curiosidade que foi de Stephen Hawking, Haw... Hawking. Segundo o físico e professor, ele apresenta, é... ele discutiu né? em uma entrevista, que a partícula de Deus apresenta um problema é... em sua característica muito preocupante, pois pode se tornar instável ao ponto de formar 100 bilhões GeV (giga eletrivolt) de energia. Isso poderia causar uma decadência do universo de maneira catastrófica? Isso realmente poderia acontecer? será? É... ao meio da pesquisa ao reelaborar a resposta que descobrimos que... aconteceu um estudo, feito pelos EUA que essa partícula pode sim um dia destruir o universo. De acordo com esse estudo, publicado no passado, no ano passado né? Que foi publicado, é possível que já tinha um colapso sobre si em lugares no espaço, caso poderá produzir uma bolha de energia sendo capaz de devorar o universo inteiro.

**Aluno 1:** Essa três aí é que... [parte inaudível] ... o estudo foi feito no ano de 2018?

**Aluna 3:** sim, esse estudo foi feito no ano de 2018, que foi comprovado que a partícula de Deus pode sim realmente acabar destruindo o universo inteiro. Foi publicado o ano passado (2018) pelos EUA, só que o descobrimento que ele deu na entrevista foi em 2014, tanto que hoje em dia o Stephen Hawking não está entre nós (faleceu), então ele realmente esteve certo por um lado.

**Aluno 1:** Maior do que temos hoje?

**Aluna 3:** Maior que hoje, sabe o que é maior que hoje? Então você já imagina maior ainda, certo? e aí é... por que tudo isso, né? por que eles querem uma... eles têm a expectativa né? que com o novo co... có-li... “cólisor” tenha poder suficiente para que consigam estudar com mais precisão a partícula de Deus e outras questões fundamentais para compreender o universo, porque o universo é muito difícil você falar do universo em sí, pois o universo é muita coisa, tem os planetas, tem os satélites...

**Aluno 1:** as estrelas...

**Aluna 3:** Não, estrela é planeta...

**Aluno 1:** não é planeta...

**Aluna 3:** é sim, tem a Lua que é um satélite...

**Aluno 1:** é uma estrela...

**Aluna 3:** é verdade, é verdade... então, para que aconteça isso realmente, eles precisam de tudo isso, para que esteja pronto, a autorização das autoridades europeias, certo? E isso, tem uma... tem uma probabilidade de que em 2040 a nova... o novo acelerador que eles querem 4 vezes maior que Genebra, que Genebra, certo? É... consiga superar tudo isso, que consiga realmente alcançar as expectativas que eles querem. Entendeu?

Percebemos nesse trecho do debate que os alunos apontam determinados elementos que estão associados ao tempo entre uma publicação de DC e a produção do conhecimento em si. Esse espaço de tempo de 2014, quando a pesquisa foi feita, e 2018, quando ela é publicada, remete a reconhecer a importância entre o período necessário para entender até que ponto um conhecimento pode ser efetivamente publicado como significativo para a ciência. Em especial, o diálogo entre a Aluna 3 e o Aluno 1 apontam não somente o tempo como o papel do estudo para os impactos no universo (sua possível destruição). Nesse sentido, podemos perceber que o uso de temáticas catastróficas ainda persiste em determinados materiais, contudo, sendo mais bem explorados no caso de texto com a qualidade pretendida. Podemos, também, perceber que elementos da fronteira (WATANABE, 2015) poderiam ser incorporados nesse debate quando a Aluna 3 indica outros saberes a serem incorporados na discussão do texto como o caso da morte do cientista. Cabe ressaltar que nesse diálogo entre a Aluna 3 e o Aluno 1 sobre uma pesquisa que ela fez para complementar o texto de referência e trazendo



a informação que o CERN planeja construir um novo acelerador de partículas maior que o LHC. Desse modo, percebemos nessa fala a combinação entre as categorias: engajamento para a compreensão da natureza da ciência e engajamento para compreender o funcionamento do experimento.

**Categoria: Engajamento para o entendimento do conteúdo**

Já a discussão a respeito do conteúdo apareceu em três momentos distintos, mostrando que a atenção do educando estava voltada para tentar compreender o conteúdo, com interesse especial em ter uma boa noção do Bóson de Higgs e a importância da sua descoberta para a física de partículas e, em particular, para o modelo padrão.

Inicialmente, em uma fala do Aluno 1:

**Aluno 1:** Por que os aceleradores de partículas são tão importantes? Porque com aceleradores de partículas é possível criar mutações a partir da colisão das mesmas e assim poder conhecê-las e até mesmo estudá-las, podendo assim obter novas composições químicas de objetos sólidos. Por que a partícula de Deus (Boson de Higgs) é tão Cobiçada? Porque essa partícula é responsável pela massa de todas as partículas. Há mais de 30 anos essa partícula é procurada, no ano de 2012 ela foi encontrada, o que foi uma grande descoberta, pois mostra que a teoria de Peter Higgs estava certa e todo trabalho dinheiro gasto nos aceleradores não foram em vão. Apesar de que, mesmo se não fosse descoberta, não seria em vão, pois os aceleradores de partículas foram muito úteis para termos muitas coisas que temos hoje.

Em um segundo momento, a Aluna 3 a respeito do modelo padrão:

**Aluna 3:** De acordo com o texto, quando eu olhei perguntas que vem na minha cabeça foi o modelo padrão, o que seria isso? O modelo foi criado pelos físicos de partículas para explicar a dinâmica das partículas minúsculas, suas previsões teóricas ao longo das últimas... dos últimos 40 anos de resultados experimentais têm sido acertadas, no entanto não se explica tudo, deixando de fora por exemplo a força da gravidade. Com tudo que ocorreu, é... me levantou a mais duas... duas curiosidades:

E por fim, um diálogo entre a Aluna 2 e o Aluno 1 retornando ao assunto Boson de Higgs:

**Aluna 2:** O que seria realmente a partícula de Deus?

**Aluno 1:** É... é tipo a partícula que deu início a todas as outras, é como se fosse a primeira. A partícula de Deus não a Bóson de Higgs é a partícula que deu... que é a massa que deu início as outras partículas, a partir dela que veio as outras. Ela foi uma hipótese, em mil novecentos e bolinha, quando Peter Higgs achou que uma partícula deu início as outras, nos 1960, e eles só descobriram essa partículas que ela existe mesmo em 2012, mas não foi o... mas não foi o Peter Higgs que descobriu ela, foram outros físicos, porque ele já tinha morrido<sup>17</sup> essa época. É mais ou menos isso, a partícula que deu origem a todas as outras.

Nota-se, nesses recortes, uma recorrência na fala dos alunos pesquisados a respeito de uma inquietação em tentar compreender teoricamente o papel desempenhado pelos aceleradores e quais os benefícios para a humanidade, mesmo que os resultados esperados não tenham sido encontrados. Também chama a atenção a curiosidade pelo bóson de Higgs, no que se refere às suas propriedades, à sua importância para completar a teoria do modelo padrão e, assim como na categoria anterior, os pesquisados evidenciaram uma tendência em analisar o espaço temporal entre a concepção do conhecimento científico e a sua comprovação empírica. Como alerta Graciella Watanabe, “[...] se entende a fronteira como espaço de articulação, engajamento e negociação em constante movimento e que guarda em si a historicidade como o lugar da reflexão.” (WATANABE, 2015, p. 71), ou seja, o texto de divulgação científica conseguiu despertar nos alunos a percepção do conteúdo e a sua construção histórica.

#### **Categoria: Engajamento para compreender o funcionamento do experimento**

É notório que os alunos se interessam pela física de partículas e a busca pelo entendimento dos princípios de funcionamento dos aceleradores de partículas se fez presente durante a fala. Abaixo, podemos perceber que essa categoria apareceu em cinco oportunidades.

Logo no início das discussões, o Aluno 1 tomou a fala e levantou uma questão a respeito da estrutura do LHC, porém não prossegue com o assunto:

**Aluno 1:** [...] por que o LHC fica em uma caverna 100 metros abaixo da superfície? Por que o espaço de 27 quilômetros acima da terra seria algo

---

<sup>17</sup> O Aluno 1 notadamente se equivoca em afirmar que Peter Higgs teria morrido, fato este que não é verdade.

muito caro, outro motivo é que a terra e as rochas acima servem como escudo para a radiação natural.

Em outro trecho, a Aluna 2 inicia uma discussão a respeito do movimento das partículas percorrendo o anel do acelerador e de quais experimentos estão ali presentes:

**Aluna 2:** é... A cada segundo, quantas voltas as partículas darão em volta do anel? As partículas darão 11245 voltas no anel do acelerador. No LHC, quais são os quatro principais detectores? Cite dois deles. O ATLAS. Não gente, como que se fala esse nome mesmo? Esse nome eu não sei ler...

**Aluna 1:** Comp... não consigo ler também.

**Aluna 2:** Lê aqui Aluna 3...

**Aluno 1:** Compact Mul... CMS, pronto.

**Aluna 3:** É CMS mesmo.

**Aluna 2:** Enfim... Se... Qual o objetivo do acelerador de partículas? É o acelerador de partículas umas com as outras, quebrando-as e as tornando menores, gerando outras substâncias.

Considerando os trechos coletados acima, podemos perceber uma tendência dos educandos em buscar o entendimento dos experimentos realizados nos aceleradores de partículas, especialmente no LHC. Em dois momentos da discussão, os educandos se mobilizaram para tentar compreender os princípios de funcionamento do acelerador de partículas e os seus experimentos e externar esse conhecimento aos demais componentes grupo.

**Categoria: Engajamento para a explicação/construção do pensamento científico**

Mesmo que os alunos estejam a todo momento levantando hipóteses em relação ao que tenha orientado cientistas a chegarem em suas conclusões, não percebemos um discurso claro nesse sentido. O que talvez evidencie uma preocupação exacerbada em compreender a natureza da ciência e o entendimento do conteúdo em detrimento de tentar construir o pensamento científico acerca do assunto tratado no texto de referência. Porém, a quantidade de conceitos novos, em tão pouco tempo para discuti-los, pode ter prejudicado a assimilação de toda essa informação por parte dos educandos.

## **Análise do texto 2: Sobre o discreto charme das partículas elementares**

### **Categoria: Engajamento para a Compreensão da Natureza da Ciência**

Diferentemente do texto 1, essa categoria não apareceu no discurso dos alunos pesquisados. Acreditamos que o texto 2 tenha um caráter mais instrumental, no sentido de fornecer definições claras e diretas para o tema apresentado, além de apresentar figuras pictóricas para ilustrar o que foi exposto.

### **Categoria: Engajamento para o entendimento do conteúdo**

Podemos perceber que os alunos que participam da pesquisa demonstraram estar preocupados em compreender o conteúdo apresentado no texto, conhecer as definições que permeiam as classificações das partículas, assim como o que as diferenciam. Assim, temos o recorte de um diálogo entre os Alunos 6, 8, 9 e 10 discutindo as diferenças entre os quarks e o princípio de exclusão de Pauli:

**Aluna 9:** "então os quarks não podem ser iguais, com a mesma massa apesar de eles serem idênticos."

**Aluna 10:** "Isso, eu entendi isso..."

**Aluno 6:** "não pode ter dois."

**Aluna 9:** "Não, na verdade acho que não podem ter dois strangers."

**Aluno 6:** "não podem ter dois iguais, não importa que tipo de férmions é, não podem ser iguais. Mas..."

**Aluno 8:** "tem up, down, strangers..."

**Aluno 6:** "strange"

**Aluna 9:** "não pode ser nenhum deles? Tipo um down e um strange?"

**Aluno 6:** "aí pode, mas aí os quarks, eles possuem cores, por exemplo, o quark strange ele tem três tipos de cores."

**Aluna 9:** "ele tem verde, azul..."

**Aluna 10:** ... "e amarelo"

**Aluno 6:** "aí, tipo, podem ter três quarks strangers em uma partícula, mas tem que ser de cores diferentes. É isso que explicaram."

**Aluna 9:** "estou procurando aqui, porque no texto falou que apesar de eles serem idênticos, eles têm a massa diferente. Meio estranho, porque eles são idênticos, como é que eles vão ter a massa diferente?"

**Aluna 10:** "é verdade"

**Aluna 9:** "estou procurando, calma aí..."

**Aluno 6:** "mas aí tá falando dos quarks também?"

**Aluna 9:** "dos strange eu acho..."

Nesse recorte acima, podemos perceber que o grupo está empenhado em discutir o conteúdo, no que se refere à diferenciação dos quarks em sabores (Up, Down, Charm, Strange, Top, Bottom) e cores (vermelho, verde e azul). O Aluno 6 parece ter se apropriado dos conceitos apresentados no texto, ao passo que a Aluna 9 assume uma postura questionadora quanto aos critérios que definem os sabores e as cores dos quarks. Esse recorte vai ao encontro da ideia que a DC como fronteira (WATANABE, 2015) não é o transpor de uma linha que separa os saberes produzidos pela ciência e os disseminados na escola, mas que se assume como espaço de compartilhamento desses saberes, com um linguajar de fácil entendimento, mas que se preocupa com o rigor das informações prestadas e que, assim, fornece aos educandos elementos para conhecer, dialogar e confrontar as ideias ali contidas.

#### **Categoria: Engajou para compreender o funcionamento do experimento**

Nessa categoria, observamos que o diálogo estava voltado para entender os mecanismos de funcionamento do experimento e mais que isso, conhecer especificamente o tubo de raios catódicos que foi idealizado por J. J. Thompson em 1897, sendo que os alunos sentiram a necessidade de uma interferência do docente que estava conduzindo o trabalho:

**Aluno 8:** "O que seria um tubo de raios catódicos?"

**Professor:** "sim. Você já viu um tubo de TV? aqueles tubos grandes?"

**Aluno 6:** "tubão?"

**Professor:** "isso. Lá você tem... aquele tubo é um tubo de raios catódicos. Por que tubo de raios catódicos? Porque existe lá um componente chamado Catodo, que emite elétrons, então antes de saber toda a origem desses raios, então chamava tubo de raios catódicos, depois se percebeu, por alguns experimentos, que eram elétrons."

**Aluno 6:** "então o Thompson em 1897, ele utilizou esse método, não é? com a Ampola de Crookes."

**Aluno 8:** “Hummm... é por isso que era usado os raios?”

Algumas partes inaudíveis...

**Professor:** "a Ampola de Crookes é anterior à TV, ela forma..."

**Aluno 6:** "ele usou para descobrir os elétrons..."

**Professor:** "isso, a Ampola ela emite os raios catódicos, formando uma imagem logo à frente da Ampola. Foi usado uma cruz de malta, parecida com a do time do Vasco da Gama. Então, aí colocou aquela cruz na frente do emissor dos raios catódicos, e aí formou a imagem na frente."

**Aluno 6:** "então ele realizou uma experiência com esses raios catódicos na chamada Ampola de Crookes, aí ele flagrou... ele flagrou... sei lá, a divisibilidade do átomo. Falando isso aí o que o professor fez..."

**Aluno 8:** "então com os raios catódicos, que eram emitidos para a Ampola de Crookes, o raio, o elétron passava por um campo elétrico, que ele era acelerado e depois pelo campo magnético, que fazia a curva da trajetória, aí ele era exibido lá naquele negócio e dava para ver o elétron."

**Aluna 7:** "ok."

**Aluno 6:** "Tá, é isso aí, ele vai se separando do átomo."

**Aluna 7:** "ok..."

**Aluno 6:** “Você conseguiu responder?”

Parte inaudível...

**Aluno 6:** “...aí ele fez essa descoberta através desse método da Ampola de Crookes, que ele flagrou a divisibilidade do átomo, ele dividiu o elétron do átomo, retirou o elétron do átomo através da...”

**Aluno 8:** “da ampola...”

**Aluno 6:** “...do aceleração e depois da curva do elétron. Com essa curva ele se separou do átomo aí ele descobriu o elétron. Então é isso...”

**Aluna 10:** “aí ela aparecia no bulbo da ampola, os pontinhos lá...”

**Aluno 6:** “tá, então vou colocar aqui, raios catódicos...”

**Aluna 9:** “o que que é a ampola?”

**Aluno 8:** “é isso aqui...”

**Aluno 6:** “são basicamente feixes de elétrons?”

**Aluna 7:** "acho que sim."

**Aluno 8:** "isso."

Entendemos que no diálogo acima, os alunos buscam na figura do Professor o entendimento do funcionamento da Ampola de Crookes e os raios catódicos que aparecem no texto para falar sobre a constatação da divisibilidade do átomo. Percebemos uma certa reticência na fala do professor em não utilizar termos muito técnicos para explicar o experimento, talvez pelo ineditismo da prática pedagógica e a possível falta de repertório para conseguir se articular diante dos questionamentos dos alunos. Assim, percebemos que a DC, enquanto fronteira, “[...] movimenta os sujeitos de suas posições ordinárias do campo, do reconhecimento no seu espaço social, de sua vanguarda e lutas enraizadas para transformar o diálogo em ações de desafio e criação.” (WATANABE, 2015, p. 71)

### **Categoria: Engajamento para a explicação/construção do pensamento científico**

Percebemos que os alunos anseiam por reconstruir os passos que levaram os estudiosos da ciência a chegarem em suas conclusões. Essa fala aparece em dois momentos da discussão. Inicialmente, o debate sobre o princípio de exclusão de Pauli, mas aplicado ao modelo de Gell-Mann e à partícula Ômega:

**Aluno 6:** "tá, vou ler minha primeira pergunta: explique o porquê de o Princípio de Exclusão de Pauli, princípio que afirma que dois quarks idênticos não podem ter os mesmos números quânticos ou ocupar o mesmo espaço em um núcleo por exemplo ...

**Aluna 7:** “Bom...”

**Aluno 8:** “espera aí, espera aí...”

**Aluno 6:** “é, calma... Explique o porquê desse princípio não se aplicar ao modelo de Gell-Mann em sua descoberta da partícula Ômega formada por... por três quarks S? quarks S são os quarks strangers né, aqueles quarks estranhos. Porque existem três tipos de quarks, os quarks charm, os quarks down, os quarks up e o strange, são quatro. Opa... [parte inaudível]. ...aí, por exemplo, os mesmos quarks não podem estar no mesmo espaço. Por exemplo, não podem ter dois quarks S, não pode ter dois quarks down no mesmo par, no mesmo espaço, no mesmo próton por exemplo, e é isso o que fala no Princípio de Exclusão de Pauli. Mas aí veio dois físicos, os... cadê o nome deles? Yoichiro Nambu e o Moo-Young, eles criaram uma teoria falando que os quarks, eles são diferentes

entre si porque eles possuem cores. Ele disse que seria um novo número quântico em relação aos quarks. Cada quark possui três tipos de cores diferentes: o azul, o amarelo e o verde; então se tiver, por exemplo, na partícula ômega, é composta por três quarks S e esses quarks S são de cores diferentes, mas se eles não fossem de cores diferentes eles não poderiam existir, mas eles são, e é isso o que a teoria queria dizer, porque essa partícula ômega ela ia contra esse princípio de exclusão de Pauli. Então, é isso aí."

Posteriormente, o diálogo entre os educandos 6, 8, e 10 continua, porém o assunto passa a ser especificamente sobre os férmions e suas definições:

**Aluna 10:** "tá, próxima pergunta..."

**Aluno 6:** "por que o próton não pode ser considerado um férmion fundamental? Um férmion fundamental que não pode ser subdividido."

**Aluno 8:** "que não pode ser quebrado?"

**Aluno 6:** "Olha, eles não podem ser considerados férmions fundamentais porque eles são constituídos por partículas menores do que a deles, ou seja, tem um próton e dentro deste próton há outras partículas, que são os... os quarks. Então ele não pode ser uma partícula fundamental porque ele pode ser divisível, é isso."

**Aluno 8:** "por quê? Ele pode ou não pode?"

**Aluno 6:** "Ele pode ser divisível. Agora, o elétron é outra história, o elétron não tem uma menor partícula dentro dele, ele é uma... um férmion fundamental. Não é não, professor?"

Nesses dois recortes, temos duas discussões entre os alunos pesquisados que representam a busca pela compreensão do modelo de Gell-Mann e o princípio de exclusão de Pauli, assim, temos uma demonstração da proatividade do grupo em entender a construção do pensamento científico, ou seja, a produção da física básica. Desse modo, percebe-se que os textos de divulgação científica (TDC) desempenham diferentes papéis no ato de divulgar, seja influenciar o pensamento coletivo ou atender ao interesse pela ciência. Nesse sentido, a produção de materiais de divulgação, especialmente os TDC, deve ter uma complexidade, uma profundidade de conteúdo na mesma medida em que esse saber se apresenta inteligível (WATANABE, 2015).



### Análise do Texto 3: “Sopa” primordial

#### Categoria: Engajamento para a Compreensão da Natureza da Ciência

A partir da proposta desenvolvida em sala de aula, percebeu-se que o texto teve importante papel para despertar o interesse dos alunos para aprofundar o entendimento do que é o plasma de quarks e glúons, que é o assunto central do texto de divulgação. Assim, os alunos demonstraram a necessidade de procurar algum material fora do ofertado pelo docente. Tal perspectiva aparece no discurso dos alunos pesquisados em duas ocasiões tanto no grupo 3<sup>a</sup>A quanto no debate do grupo 3<sup>a</sup>B.

No discurso abaixo, vemos a Aluna 3, do grupo 3<sup>a</sup>A, colocar na mesa a necessidade em entender definitivamente o movimento coletivo quarks e glúons.

**Aluna 3:** “E a minha terceira pergunta poderia, é... como poderia ser explicado melhor o movimento coletivo dos quarks e glúons? Bom, primeiramente antes de explicar, antes de começar a explicar, eu queria entender um pouco mais quando formos debater porque mesmo colocando a resposta ainda na minha cabeça não ficou muito claro, porque no texto é... da fonte de que eu tirei foi falado que os cientistas conseguiram através das leis gerais que descrevem a força nuclear forte, como um dos grandes exemplos que temos a água e foi feito uma comparação a água é a molécula  $H_2O$  certo?, mas isso não diz que... como que a água se transforma em vapor? É o resultado do comportamento coletivo das moléculas. Assim, eu não... antes de explicar direito e tudo mais, e falar se está certo ou errado não importa, eu gostaria que quando fossemos debater tivesse mais algum exemplo sobre isso porque na minha cabeça não ficou muito claro, mas eu tentei, então é o que estava no texto e mais uns meios de informação e assim foi... e assim foi o resultado da grande discussão agora.”

Em um segundo momento, o aluno 1 demonstra uma angústia em não conseguir uma explicação plausível para a escolha de um determinado elemento em detrimento de outros que possuem características semelhantes, como o ouro e o chumbo, para se produzir o plasma de quarks e glúons.

**Aluno 1:** “A segunda pergunta eu não consegui achar uma resposta eu pesquisei em muitos sites, muitas... muitos lugares e não achei uma resposta para ela e espero que seja uma pergunta que possa ser debatida depois por que eu ainda quero saber uma resposta do por que a pergunta é:

Só é possível encontrar o plasma nos átomos de ouro e chumbo? e a minha resposta foi: sempre quando a equipe de físicos colidiram os átomos para obter o plasma, eles colidiram apenas átomos de Ouro e Chumbo, mesmo existindo outros elementos pesados, como o Urânio e a Platina, mesmo pesquisando em vários sites, não encontrei a resposta para essa pergunta, mas, acredito que... que mesmo o Urânio e a Platina sendo metais pesados, elementos pesados não são o bastante para conseguir obter o plasma. E é isso.”

Abaixo, temos outro recorte de dois momentos da fala dos alunos do grupo 3<sup>a</sup>B. Nessa primeira fala, o Aluno 6 inicia o debate expondo a busca sobre os detectores do LHC em fontes além do que foi oferecido ao grupo.

**Aluno 6:** “No primeiro texto que o professor passou, era sempre voltado aos aceleradores de partículas, e tem uma parte desse texto no "Sopa' Primordial", em que ele fala do acelerador de partículas do LHC, e ele fala que tem projetores nesse acelerador; ai eu perguntei 'quais eram esses projetores e para que estavam projetados?', e depois que eu pesquisei eu descobri que existem 4 detectores que se denominam: atlas, compact muon solenoide e o LHCB e o Alice. o Atlas e o CMS que é o compact muon, eles servem para detectar qualquer tipo de partícula ou até partículas desconhecidas. E o LHCB e o Alice, eles são projetados para detectar partículas específicas, como os Quarks, os Glúons.”

Agora, temos um diálogo entre as Alunas 7 e 10 do grupo 3<sup>a</sup>B em que elas expressaram a necessidade de compreender a natureza dos hádrons.

**Aluna 10:** “uma dúvida que eu tive em relação a esta pergunta do aluno 8 foi a definição de hádrons e, depois de eu ter pesquisado, hádrons, de forma básica, são partículas compostas por um estado ligado de quarks.”

**Aluna 7:** "isto também está descrito no texto, né... Então, é que nem a Manu acabou de comentar aqui com a gente que isto é uma coisa realmente incrível, pois os pesquisadores conseguem criar um Sol na Terra..."

**Aluna 10:** "um Sol bem minúsculo..."

Nota-se que nessa categoria, os grupos 3<sup>a</sup>A e 3<sup>a</sup>B se mostraram muito engajados em procurar compreender a natureza da ciência e se mostraram autônomos para buscarem outras fontes de divulgação científicas para complementarem a leitura do texto oferecido. Cabe des-

tacar o último diálogo entre a Aluna 10 e a Aluna 7 em que percebemos que esse recorte apresenta uma combinação entre as categorias natureza da ciência e o engajamento para o conteúdo e optou-se por colocar aqui por representar melhor essa categoria. Desse modo, os discursos dos alunos não apresentam categorias fixas e setorizadas, mas refletem quão diversa pode ser a relação destes com o saber apresentado no texto.

### **Categoria: Engajamento para o entendimento do conteúdo**

Os textos de referência oferecem uma gama considerável de conceitos relacionados a física de partículas e, em particular, o plasma de quarks e glúons e durante as atividades relacionadas ao texto 3 os alunos evidenciaram isso durante as suas falas. O grupo 3<sup>a</sup>A foi a turma que mais apresentou esse viés durante a escuta dos áudios. Assim, apresentamos abaixo cinco recortes das falas e diálogos dos alunos e alunas 1, 2, 3, 4 e 5.

Nesta fala inicial, a aluna 3 busca discutir a existência e produção de anti-partículas:

**Aluna 3:** “Bom, a segunda questão, a segunda questão que eu fiz é... sobre a “sopa” primordial de quarks e glúons: se tem sido é... se tem a possibilidade de detectar anti-quarks que é uma anti-partícula, já que a matéria quando se forma ela se apresenta sempre a sua contraparte? De acordo com a minha pesquisa diz que de fato não só teria, não só seria possível, mas como ultimamente já se é feito, ultimamente aconteceram vários e vários experimentos de colisões de prótons que mostram, realmente mostram que podemos sim encontrar anti-partícula de glúons e quarks de outras gerações futuramente.”

Tal dimensão também apareceu com a fala da Aluna 1, complementando a fala do aluno 3, assim:

**Aluno 1:** “Uma outra pergunta que a gente tem é da Aluna 2, que é: qual era a expectativa dos pesquisadores em relação aos hádrons de quarks serem mais pesados que o normal? E a resposta foi: a expectativa dos pesquisadores era que conforme o hádron de quarks fosse mais pesado perderia bem menos energia do que os quarks... do que os...perderiam bem menos energia do que os quarks, assim ficando mais leves ao atravessar o plasma...”

Mais alguns trechos à frente, a Aluna 4 relata a sua busca em entender as colisões e as possíveis formações de um fluido quente e que se comporta como um gás ideal.

**Aluna 4:** “As dúvidas que eu tive foram depois da colisão dos núcleos de chumbo se forma um líquido que aparece superquente e esfria instantaneamente, pode ficar gasoso? Depois de fazerem colisões de núcleos de ouro, havia produzido um estado em que quarks e glúons não estavam presos no interior de hádrons, mas também não estavam totalmente livres, como as moléculas de um gás ideal. A outra é: Por que as colisões desfazem os prótons e os nêutrons? O objetivo das colisões de núcleos pesados é comprimir prótons e nêutrons até que seus quarks e glúons fiquem soltos por um instante. Em condições normais, quando estão incrustadas em nosso corpo ou em uma xícara de café, por exemplo, essas partículas se comportam de um jeito bastante previsível, mas experimentos com aceleradores que pode acelerá-las até velocidades próximas à da luz, aqui mostra que é como quando colocamos o café pra esquentar (muito) e ele fica borbulhando, faz as gotas de café subirem Por que os quarks se movimentam em partículas compostas? O motivo é que ao contrário... humm cadê? Há... ao contrário das demais forças fundamentais da natureza, que perdem intensidade com a distância, a força nuclear forte aumenta à medida que dois quarks se afastam um do outro. ‘Pense em duas bolas conectadas por um elástico [...] Quando uma se afasta da outra a tensão no elástico aumenta, e quando elas se aproximam o suficiente a tensão desaparece e as bolas se movimentam livres’”.

Agora temos um diálogo entre a Aluna 2 e o Aluno1, discutindo a formação do plasma de quarks e glúons e que a matéria nesse estado apresenta uma temperatura muito maior que a do Sol e falam do seu posterior resfriamento a partir da sua expansão.

**Aluna 2:** “Qual o fenômeno que ocorre quando as partículas de quarks e glúons se colidem? Por um levíssimo instante após a colisão, os quarks e glúons formam um líquido chamado o plasma de quarks e glúons, um estado de matéria pouco conhecido. Ele é 250 mil vezes mais quente que o interior do sol e mais denso que a matéria do núcleo dos átomos. E a terceira dúvida que eu tive no decorrer do texto foi: O que ocorre na expansão do plasma de quarks e glúons? E a minha resposta foi: o plasma expande e esfria quase instantaneamente, seus quarks então se é... se combinam em novas partículas, os hádrons cujas trajetórias são detectadas por um detector como o ALICE.”

Em outra parte da conversa, o Aluno 5, que até então não tinha se pronunciado, fez uma intervenção muito curiosa em relação ao comportamento coletivo dos quarks e glúons e a sua relação com a evolução do universo:

**Aluno 5:** “Bom, continuando, vou falar minha primeira questão do texto “sopa” primordial. Bom, a primeira pergunta é: O comportamento coletivo dos quarks e dos glúons ajudam a entender como o universo evoluiu? Segundo Takahashi, o plasma de quarks e glúons é feito de partículas fundamentais, superdensas e ultra quentes, chocando-se livres entre si durante a origem do universo, e para a gente conhecer a transição de fase para a matéria de prótons e nêutrons aglomera...dos... nos núcleos é muito importante, pois essa “sopa” escaldante, teria sido o início de toda a matéria. Bom, e a segunda pergunta que eu fiz foi: As colisões de núcleos de Ouro e Chumbo mostram que os quarks e glúons formam gotas de líquido? A resposta eu consegui foi: No colisor de RHIC colide-se com os núcleos de Ouro e no LHC de Chumbo. No RHIC percebeu-se que quarks e glúons pareciam formar uma gota líquida e esse plasma teria características de baixíssima viscosidade. No LHC, colidiu-se com os núcleos de chumbo com energia 14 vezes maior esperando que quarks e glúons se comportariam como um gás, mas foi observado um estado líquido. A terceira pergunta foi: É... se esperava... O que se esperava sobre a energia dos quarks? Que os hádrons de quarks mais pesados perderiam menos energia que os quarks mais leves ao atravessar o plasma, ao atravessar o plasma, mas isso não foi observado no RHIC nem no LHC.”

Já com o grupo do 3<sup>a</sup> B, temos uma conversa entre os pesquisados, assim como o grupo anterior, a respeito das altas temperaturas envolvidas nas colisões. Logo em seguida, o assunto passou a ser os tipos de interações entre as partículas e como isso explica o fato de não encontrarmos quarks livres na natureza.

**Aluna 7:** "bom, no decorrer do texto a gente foi tendo outras dúvidas, né, sobre as partículas, sendo uma delas..."

**Aluno 8:** "a dúvida é a seguinte: como partículas tão pequenas são capazes de alcançar uma temperatura tão alta? Provavelmente devido à alta velocidade (próxima à velocidade da luz) na qual as partículas são submetidas e por conta da aceleração e o impacto da colisão, o aquecimento das partículas acontece."

**Aluna 10:** "outra questão que encontramos foi sobre as leis gerais que descrevem a força forte. Quais são elas?"

**Aluno 6:** "de acordo com o que o professor falou em uma de suas aulas, a força forte é uma força atrativa, onde duas partículas são atraídas uma contra a outra e, quanto mais elas se afastam, mais potente será a força de aproximação entre as duas. Essa força forte só seria "anulada" (não "anulada", né, estou usando por falta de palavra melhor) quando as duas partículas em questão ficassem próximas uma da outra e só assim elas teriam uma própria liberdade entre elas..."

**Aluna 7:** "é isso o que acontece com os quarks, não é?"

**Aluno 6:** "exatamente, quanto mais eles se afastam, mais a força forte atua para que eles fiquem juntos."

Analisando-se os fragmentos dos debates dos grupos 3<sup>a</sup>A e 3<sup>a</sup>B, podemos inferir que os alunos pesquisados, assim como verificado nos textos 1 e 2, corroboraram a existência de um nível de engajamento para o entendimento do conteúdo, ou seja, foram à procura de um aprofundamento em relação às questões mais conceituais sobre o tema. O discurso dos alunos nos remete ao fato de subjugarmos o interesse destes, por acharmos que detêm um baixo capital cultural com temas científicos. E entendemos que esse seja o papel da DC, enquanto empreendimento social: o de criar algum grau de engajamento a partir do encontro dos atores sociais de ambos os lados – seja do campo científico: cientistas, divulgadores, jornalistas e editores; seja o público a quem se destina esse conteúdo – e que encontrem nesse espaço o diálogo em que as diferenças de ideias e condutas contribuam para a produção de conhecimento e “superação das posições de dominação e poder” (WATANABE, 2015, p. 79).

#### **Categoria: Engajamento para compreender o funcionamento do experimento**

Abaixo, temos o diálogo do grupo 3<sup>a</sup>A tentando, em três momentos diferentes, explicar o funcionamento do experimento no que diz respeito ao material utilizado para dar origem às partículas que participaram das colisões. A Aluna 3, muito ativa durante as atividades propostas, expôs uma dúvida em relação a utilização do Chumbo em detrimento de outros materiais como Platina e Urânio.

**Aluna 3:** “mas eu gostaria de saber também a diferença, se quando eu coloco o Chumbo eu tenho que colocar a mesma quantidade de... como que é o nome? Platina ou Urânio... Urânio. E assim eu acho que não, mas eu queria saber disso...”

Já a Aluna 2 colocou na mesa uma discussão sobre o fato dos hádrons apresentarem uma massa maior que o “normal”.

**Aluna 2:** “Qual era a expectativa dos pesquisadores em relação aos hádrons de quarks serem mais pesados do que o normal? a expectativa dos pesquisadores era que conforme os hádrons de quarks fossem mais pesados poderiam bem menos energia de que, de hádrons assim ficando mais leves ao atravessar o plasma. Então eles queriam que os hádrons de quarks ficassem mais pesados, porque assim eles perderiam menos energia, tipo eles... consumiriam bem menos energia.”

Por fim, o Aluno 1 faz uma leve comparação sobre o grau de dificuldade de leitura entre os textos ofertados na primeira e na segunda atividades desenvolvidas em sala. Logo depois, mesmo que reticente, ele busca entender os motivos que levaram à suspensão das atividades do LHC por um período determinado.

**Aluno 1:** “Bom, esse segundo texto sobre a “sopa” primordial foi um pouco mais difícil de eu entender, por isso fiz só duas perguntas, e perguntas simples. A primeira: é por que as colisões no LHC haviam sido suspensas? essa eu não consegui achar uma resposta exata no texto, só que acredito eu, seja o que eu respondi, mas pelo o que já discutimos e estudamos acho que foi porque os resultados obtidos sobre o plasma de quarks e glúons, não estavam suficiente, pois, para obter este estado da matéria, por mais do que poucos microssegundos, é necessário mais potência do que a já apresentada no LHC, e para conseguir cada vez mais um tempo maior da existência desse plasma é necessário a força maior e uma energia e calor maior.”

Da mesma forma, o grupo 3<sup>a</sup> B apresenta um debate a respeito do experimento em dois momentos da atividade. Inicialmente, a Aluna 7 tem uma fala que tenta elucidar os princípios de funcionamento do experimento, no caso do acelerador LHC, e sobre os materiais utilizados para gerar as colisões no interior dos detectores.

**Aluna 7:** “essa segunda aqui que a gente fez sobre... o que é incomum nos dois aceleradores de partículas...”

**Aluno 6:** “ah...sobre... as colisões..”.

**Aluna 7:** “surgimento de novas estruturas”

**Aluno 6:** “ah... e qual é a semelhança entre os dois testes... o do chumbo, e o do...”

**Aluna 7:** “do ano né? o surgimento dessa nova estrutura chamada higgs...só que você escreveu uma coisa aqui que eu não entendi direito...”

**Aluno 6:** “lê sua pergunta aí, Aluna7, de qual seria o efeito em comum que foi observado nos dois aceleradores de partículas...”

**Aluna 7:** “a gente acabou de falar disso...”

**Aluno 6:** “calma...do LHC e do RHIC... em um acelerador foi feito uma colisão de partículas de ouro e em outro, partículas de chumbo...”

**Aluna 7:** “tá... sobre essa pergunta, que eu já falei, mas eu vou falar de novo... é uma pergunta simples, que no texto ele fala que é uma estrutura que né, é comum entre esses dois aceleradores de partículas, o LHC e o RHIC... que é o surgimento dessa estrutura... só que o que eu estou tentando perguntar para você Aluno 6, é por que... o que você escreveu mais aqui... que eu não entendi... o que essa estrutura é? por que ela é importante? por que o surgimento dela foi importante?”

**Aluno 6:** ... “Eu não sei, o texto não explica o porquê exatamente o surgimento dessa estrutura...”

**Aluna 7:** “do que ela é exatamente.”

**Aluno 6:** “exatamente! mas, aqui diz que o plasma, ele se assemelha a um líquido que escoar, e que não tem qualquer tipo de viscosidade... e que essas partículas, elas se acabam... elas acabam se formando e se refletindo o comportamento delas de uma forma coletiva... eles refletem esse comportamento coletivo do plasma... e é isso aí que o texto diz...”

Logo depois, o Aluno 8 volta a falar do experimento, mas agora preocupado com a robustez da construção para suportar temperaturas tão altas.

**Aluno 8:** "uma outra dúvida que encontramos no texto foi sobre os projetores do LHC. Como o LHC consegue suportar uma temperatura 250 mil vezes maior que a temperatura do interior do Sol? Eu respondi que provavelmente o LHC possui uma tecnologia muito avançada que impede o superaquecimento da máquina, mas segundo o professor, ele diz que é uma questão de engenharia, e isso depende da forma com que o Grande Colisor de Hádrons foi construído."



Explorando os diálogos supracitados, podemos apontar que, tanto o grupo 3<sup>a</sup>A quanto o grupo 3<sup>a</sup>B, revelaram uma inclinação dos alunos pesquisados em procurar compreender o funcionamento do experimento para a obtenção do plasma de quarks e glúons, os tipos de elementos químicos para produzir as colisões desejadas, bem como a robustez desses equipamentos em suportar condições extremas de temperatura, que pode chegar a ser “250 mil vezes maior que a temperatura do interior do Sol”, como aponta o Aluno 8. Essas informações aguçam o imaginário dos alunos, e as dúvidas apontadas indicam uma tentativa em compreender a grandiosidade da construção de um acelerador de partículas e como se dão os processos de detecção e análise dos dados para se chegar às conclusões tão alardeadas sobre o bóson de Higgs e o plasma de quarks e glúons.

**Categoria: Engajamento para a explicação/construção do pensamento científico**

Assim como nos textos 1 e 2, os educandos pesquisados dos grupos 3<sup>a</sup>A e 3<sup>a</sup>B se mostraram interessados em falar dos conceitos relacionados aos temas tratados no texto de referência.

No início dos trabalhos do grupo 3<sup>a</sup>A, a Aluna 3 pediu a fala para ser a primeira a expor as ideias. Tendo a “sopa” primordial como tema central e sua abordagem, temos uma demonstração do engajamento do grupo em explicar a construção do conhecimento científico acerca do plasma de quarks e glúons e a sua relação com a teoria do Big Bang.

**Aluna 3:** “Talvez seja uma das grandes questões, perguntas, que muitos estudantes, inclusive meu grupo, poderia estar em dúvida que é: Por que a descoberta mais famosa de hádrons é chamada... é considerado pelos cientistas de “sopa” primordial? pelos meus meios de busca foi que o grande motivo pra ser primordial é porque o plasma de quarks e glúons são partículas fundamentais, elas são meio que necessitadas, elas são ultra quentes e super... super... superdensas, e assim elas correndo livres de lado a lado para o outro e chocando entre si, e isso tudo dando a... a essa informação a origem do universo. A “sopa” fica “pelando” em uma temperatura de bilhões de graus celsius e assim poderia ter sido a forma da matéria do universo nos 10 microssegundos que se sucederam ao big bang, há 14 bilhões de anos. Então, eu poderia concluir que essa “sopa” primordial talvez seja um dos grandes estudos mais esperados que já teve e que é fundamental para você saber outra coisa. E assim desse meio, né? Seja uma forma, como a própria resposta está falando, é... que essa é a

forma de talvez de explicar é... a matéria, como que é a matéria do universo.”

Agora temos uma fala compartilhada entre o Aluno 1 e a Aluna 3 sobre os critérios de escolha de elementos que seriam utilizados para fornecer uma maior quantidade de colisões no acelerador. Acredito que temos um trecho com uma mistura das categorias sobre o funcionamento do experimento e o pensamento científico.

**Aluno 1:** “é... os pesquisadores eles... eles optaram por... por escolher elementos mais pesados, porque os elementos mais pesados tinham um núcleo mais... com maior quantidade de prótons e tinham que ter uma grande quantidade de prótons e nêutrons e... essa quantidade é só encontrada em... em elementos pesados, por isso eles usavam mais o Ouro e o Cobre. É... porém, tenho uma outra, existe outros elementos pesados que também, que tem também muitos prótons e nêutrons e não eram utilizados. É... e esses elementos, espero que sejam abordados também em uma pergunta durante a discussão.”

**Aluna 3:** “eu gostaria de saber, né? Por que... se teria outro exemplo, como ele só citou o chumbo e ouro se poderia ter outro... outras matérias, matérias né?”

**Aluno 1:** “matéria...”

**Aluna 3:** “elementos que poderiam ser colocados para acontecer a mesma coisa.”

**Aluno 1:** “além do ouro e do Chumbo, tinha um... tem ma... tem mais elementos que são mais pesados assim, como por exemplo a Platina, o Urânio e têm alguns outros que eu não consegui encontrar, mas a dúvida que ficou, acredito, que no grupo inteiro é o por que esses elementos não serem utilizados também para poder... para poder encontrar, para poder fazer o plasma de quarks...”

Com o Grupo 3<sup>a</sup>B, temos dois recortes da conversação entre os educandos e o empenho que estes demonstram em apresentar toda a construção teórica da formação do plasma de quarks e glúons no LHC. Nessa primeira parte da interação, percebemos uma longa fala do Aluno 6 a respeito do comportamento, da formação e das características do plasma de quarks e glúons, suas características, os tipos de forças que mantêm coesão desse fluido evitando o aparecimento de quarks livres na natureza. A Aluna 9 e o Professor também participaram desse momento.

**Aluno 6:** “Já a pergunta da Aluna 7 é ‘Como os Quarks: Botton e Charm, (que são os maiores Quarks que existem) se comportam no Plasma, em termos de perda de energia’”...

**Aluna 7:** “Surgiu essa pergunta, porque no texto isso não é falado. que nem a gente estava vendo no texto... o que é falado lá?”

**Aluno 6:** “O texto, ele diz que comparado com o... como era esperado por ser uma partícula pesada, comparado aos Quarks Up e Down... quando ele fosse atravessar o Plasma, ele seria "barrado", atravessaria de uma forma bem lenta. igual ele (Físico) usou uma analogia...”

**Aluna 7:** “uma analogia... uma pedra grande no rio...”

**Aluno 6:** “Que ela ia demorar ou até mesmo ficar fixa...”

**Aluna 7:** “Só que no texto ele fala que isso não aconteceu como eles esperavam, mas, eles também não falam o que aconteceu...eles só deixam isso... assim...”

**Aluno 6:** “Eles só deixam como, que não foi o que eles esperavam, que os Quarks Botton e Charm, eles não passam lentamente, ocorreu outra coisa, que eles não especificaram no texto.”

**Aluna 7:** “E a gente também não achou no texto.”

**Aluno 6:** “E também surge outra dúvida sobre ‘Como as partículas, elas são capazes de esfriar quase instantaneamente, após elas terem sido submetidas à uma temperatura tão alta como uma temperatura 250 mil vezes mais quente que o interior do Sol...’, e é isso que deixa uma dúvida... como elas podem esfriar tão rapidamente.... eu acho... bom a gente acha que pode ter acontecido devido ao ambiente onde ocorre a colisão das partículas, no caso o LHC, ou pode existir uma substancia superficial lá dentro, que faz com que o esfriamento instantâneo aconteça...bom, é... essas partículas elas podem ser tão pequenas, mas tão pequenas, e o tempo de sobrevivência delas ser tão limitado também, que isso já é o bastante para fazer elas se resfriarem de uma forma tão rápida, mas ainda não é nada certo, e a gente não sabe nada sobre isso também... e tem a questão de como a colisão entre metais pesados, elas fazem criar os Quarks e os Glúons ou os Hádrons...como que é? os Hádrons e os outros lá...Segundo o texto os núcleos de chumbos, eles são acelerados em alta velocidade, próximas à velocidade da luz, e o choque quando eles se batem, fazem as

partículas se comprimirem, e fazerem eles se separarem entrem Prótons e Nêutrons. A partir desse núcleo, que são comprimidos...ai essas partículas se desfazem, e elas se desfazendo aparecem seus constituintes que são os Quarks e os Glúons...tipo, os líquidos que formam a colisão dos núcleos de chumbo, se chama o Plasma, e de acordo com algumas teorias, quando essas partículas são vistas em alta temperaturas, elas chegariam em uma fase gasosa, mas não foi o que aconteceu, surgiu o plasma, que é tipo um estado liquido meio viscoso...então eles não conseguiram, pelo menos no texto não diz, como eles chegaram em uma conclusão do por que eles não chegaram em um estado gasoso, mas sim chegar no quarto estado da matéria, que é o plasma... a força forte, que está ligada à união de 2 ou 3 quarks, como os prótons e os nêutrons por exemplo, eles podem influenciar na massa das partículas. Como essa força forte influencia nas massas? eu acho que ela não influencia na massa, mas, ela influencia principalmente na união dessas partículas, por que de acordo com o princípio de exclusão de Pauling, essas partículas, elas não deveriam ficar juntas, elas deveriam se reprimir, quando elas se juntassem, elas deveriam ir cada uma para seu lado, por que elas se expandiam, mas, a força forte, ela contribui para que elas fiquem presas, por que igual fala no texto, é como se fosse um elástico, em que cada vez que as fossem separadas elas mais ficariam presas, ai quanto mais elas ficassem juntas, elas ficariam livres para circular entorno delas mesmas... então a força forte, ela comprime os Quarks e fazem eles circularem livremente entre eles sem se repelirem...”

**Aluna 9:** “se eles se afastam, a força nuclear forte ela empurra, então é uma certa força...então, sei lá, pode gerar um peso nessa...”

**Aluno 6:** “é pode gerar uma força... tipo uma força de tração... ela vai gerar um peso na ... então não é uma questão de massa, é uma questão peso... é professor, tem uma dúvida, a força nuclear, ela pode influenciar na massa das partículas? tipo ela pode adicionar massa na partícula, alguma coisa assim?”

**Professor:** “não, não... no caso a força nuclear ela é apenas a interação ...ela não vai mudar as características da partícula...”

**Aluno 6:** “não, porque, a gente achou que por causa da... vamos dizer assim, força de tração, como o texto dá o exemplo da força elástica lá... ela meio que adicionava algum peso a essas...”

**Professor:** “ah muito importante, mas, nesse caso não. A interação ela vai apenas ali interagir com a... vai na verdade, ser mediada pela partícula, mas, ela não vai alterar as características da partícula...”

Em seguida, a Aluna 9 debate as suas ideias com o Aluno 6 em relação às altas temperaturas e formação do plasma de quarks e glúons e quais as características desse estado da matéria. Assim, temos:

**Aluna 9:** "o líquido que é formado logo após a colisão de núcleos de chumbo possui uma temperatura extremamente alta e uma queda de temperatura instantânea. Este "líquido" pode virar um gás, considerando as duas temperaturas apresentadas neste processo?"

**Aluno 6:** "o objetivo, ou melhor, a suposição que eles fizeram quando tentaram derreter esses hádrons era obter um gás, mas isto não aconteceu, pois foi criado o plasma, uma espécie de líquido um tanto quanto viscoso e tudo o mais... agora, eu não sei se vi no texto isso, mas a próxima tentativa dos pesquisadores é conseguir obter um gás após este plasma, aumentando ainda mais a temperatura das colisões."

**Aluna 9:** "então eles não conseguiram criar ainda esse gás, mas a evidência é de que este surgiu depois desse processo de colisões entre núcleos de chumbo, formando moléculas de um gás ideal, pois os quarks e os glúons não estavam totalmente presos, porém não estavam totalmente livres, portanto, depois, os quarks e os glúons pareciam formar uma gota de líquido capaz de fluir perfeitamente, quase sem viscosidade."

**Aluno 6:** "essas partículas se comportaram como um gás ideal, o texto apenas comparou essas partículas com moléculas de um gás ideal, não querendo dizer que viraram um gás em si... aí depois deste gás, o plasma apareceu. Os pesquisadores esperavam que isso não acontecesse. Eu acho que é isso, eles esperavam o plasma antes do gás..."

**Aluna 9:** "depois, né, porque o gás já estava em alta temperatura, como você diz."

**Aluno 6:** "exatamente! Ou depois vem o plasma e logo em seguida este gás..."

Observa-se, a partir dos trechos acima, que a categoria engajamento para a explicação e construção do pensamento científico esteve presente em boa parte do debate dos grupos 3<sup>a</sup>A e 3<sup>a</sup>B. E, como já foi ressaltado na análise do texto 2, a fala dos educandos sugere uma pro-

pensão a se interessarem em aprofundar a discussão do conteúdo e, conseqüentemente, aspiram a determinar quais foram os mecanismos que levaram à construção dos conceitos relacionados ao plasma de quarks e glúons, manifestando um processo de transformação de como os indivíduos concebem o mundo. Isso se deu, aparentemente, pela qualidade dos textos de divulgação ofertados pelo professor, revelando o papel da DC enquanto empreendimento social e o quão engajados estão os agentes em suas ações sociais de divulgação científica de maneira a abranger diferentes públicos, sejam leigos ou especializados (WATANABE, 2015).

Percebemos, a partir da aplicação das atividades de leitura, que os textos de divulgação científica desempenharam um importante papel na aprendizagem dos educandos no que diz respeito a reduzir possíveis erros conceituais, desmitificar notícias catastróficas relacionadas ao conhecimento científico produzido atualmente e, principalmente, a apreensão de um novo vocabulário, novos conceitos e nomenclatura singulares ao campo científico e pouco comum ao cotidiano escolar.

Após passar pelo processo de elaboração dos roteiros de leitura, colocá-los à prova durante a sua aplicação e fazermos a análise dos dados coletados oferecemos no Apêndice A uma versão do que acreditamos ser a nossa versão de produto educacional.

## Considerações finais

Eu sempre fui um sonhador... e é isso que me mantém vivo!

Racionais Mc's

Os objetivos principais de nossa pesquisa foram dois: primeiro, inserir tópicos de física moderna e contemporânea (FMC) na sala de aula de física no Ensino Médio e, para tanto, encontramos na física de partículas o potencial necessário para avivar a aprendizagem dos alunos, atrelando o conhecimento físico aos desafios da sociedade moderna, conectando-os a uma ciência de fronteira e com uma produção efervescente; e segundo, verificar quais as possibilidades de inserção de textos de divulgação científica como alternativa para ensinar conteúdos de física.

O nosso estudo consistiu em **construir, aplicar e avaliar** um conjunto de atividades de leitura para ensinar física de partículas a partir da utilização de textos de divulgação científica para alunos do Ensino Médio regular. Para isso, o nosso trabalho fundamentou-se na teoria de aprendizagem por descoberta de Jerome Bruner apoiado pela definição da divulgação científica enquanto fronteira que une a produção científica e os seus saberes, para um público não especializado. Desse modo, em nosso primeiro capítulo, apresentamos uma possível denominação para a DC e a sua ação como fronteira entre os diferentes campos e os respectivos agentes envolvidos nessa disputa (WATANABE, 2015).

Vistos esses pontos, em nosso segundo capítulo, propusemo-nos a dar uma visão geral e o embasamento teórico necessário da física de partículas discutida nos textos de divulgação científica. Nosso passo seguinte foi, no terceiro capítulo, apresentar uma breve discussão sobre a metodologia de pesquisa adotada, como ocorreu o processo de coleta de dados e, por fim, um breve relato do contexto em que se deu a tomada de dados. No quarto capítulo, tivemos uma descrição das atividades de leitura utilizadas para ensinar física de partículas por meio de textos de divulgação científica.

No capítulo cinco, com a análise dos resultados, pudemos identificar no discurso dos estudantes, por meio da análise de conteúdo no referencial de Laurence Bardin, qual o grau de engajamento dos alunos na busca pelo conhecimento de física de partículas em textos de divulgação científica. Por último, no sexto capítulo, tivemos a sistematização do nosso produto educacional. Um material instrucional, que vai mostrar aos professores como pensamos o desenvolvimento das atividades de leitura.

A proposta teve a sua aplicação durante o primeiro bimestre do ano letivo de 2019, momento em que tivemos uma intensa jornada de trabalho para sistematizar a nossa proposta de produto educacional. Temos a perspectiva de continuar com o projeto, seja dentro do currículo de Física ou como uma disciplina eletiva. A troca de ideias entre os alunos e entre o Professor e os alunos desencadeou discussões extremamente ricas, em que pudemos dirimir algumas dúvidas e esclarecer conceitos equivocados já internalizados.

O nosso trabalho foi idealizado e construído para aproximar professores e alunos dos tópicos de Física Moderna e Contemporânea, e apontar caminhos que indiquem que esses temas são acessíveis e que podem ser abordados no Ensino Médio a partir de uma atividade diferenciada e que pode ser prazerosa por mudar o panorama da aula, colocando o aluno como protagonista. De modo geral, acreditamos que o produto teve um impacto positivo, ao proporcionar ao professor e aos alunos um momento de reflexão e debate, podendo desencadear uma aprendizagem sobre temas contemporâneos da física, na qual os alunos, de forma colaborativa e guiados pelo professor, conseguiram obter conclusões sobre o conteúdo tratado em sala.

Concluimos, portanto, que as atividades de leitura se mostraram promissoras e podem representar uma alternativa viável para abordar conteúdos de Física Moderna e Contemporânea, especialmente a Física de Partículas, no Ensino Médio. A prática aqui proposta pode, sim, ser entendida de forma não circunstancial, pois acreditamos que o nosso produto possa ser replicado nos mais diferentes contextos possíveis para o ensino de Física.

Em relação a trabalhos futuros, a presente dissertação oferece alguns subsídios no que se refere à continuidade do aprimoramento das atividades de leitura para ensinar física. Podemos citar abaixo algumas possibilidades:

#### **Maturidade na utilização dos TDC**

Para que as atividades de leitura utilizando textos de divulgação científica atinjam sua maturidade e um conseqüente aumento na facilidade de sua realização enquanto prática letiva, faz-se necessário que as estratégias de leitura sejam testadas com maior intensidade e com maior multiplicidade de condições de contorno (tais como, número de alunos, possibilidade de impressão dos textos ou não, disponibilidade de equipamentos de áudio e vídeo em sala de aula, ter os conteúdos de física moderna e contemporânea previstos no currículo da escola, etc.) para, desse modo, tornar a nossa proposta de trabalho o mais generalista possível. Durante o desenvolvimento do nosso produto educacional, testamos a aplicação das estratégias de leituras em quatro turmas da terceira série do Ensino Médio em uma escola pública de porte médio e inicialmente enfrentamos algumas dificuldades em relação ao entendimento e ao envolvimento dos educandos durante as atividades propostas, evidenciando a necessidade de



clarificar e simplificar quais etapas os alunos deveriam perseguir. Assim, entendemos que se faz necessário uma maior quantidade de testes adicionando novas aplicações para o uso das atividades.

### **Criação de novas estratégias de leitura**

A nossa proposta de trabalho partiu do pressuposto de dar total autonomia para que os alunos, diante da leitura dos TDC, expusessem as suas impressões e as suas dúvidas quanto ao tema abordado no texto sem nenhuma antecipação de conteúdo. Seria muito bem-vindo elaborar novas abordagens para o(s) texto(s), tornando-o(s) mais palpável(is) para os alunos com maior dificuldade de aprendizagem e mais rico para os alunos que têm maior destreza e gosto pelo tema abordado.

### **Uso de TDC para ensinar conteúdos diversos de Física**

Durante o desenvolvimento das atividades de leitura, na fase de busca dos TDC que tratassem do tema física de partículas, encontramos uma boa quantidade de textos de ótima qualidade, mas que tratavam de outros temas científicos. Portanto, entendemos que seria justo incluir nos nossos próximos passos, a investigação da possibilidade de generalizar a prática de utilização de textos de divulgação científica para ensinar qualquer tema dessa área do conhecimento, seguindo os mesmos preceitos aqui preconizados.

### **Avaliação a partir das estratégias de leitura**

Desenvolver um processo melhor de avaliação que seja natural e se assume também como estratégia de ensino, que contribui efetivamente na percepção dos avanços e retrocessos na aprendizagem dos alunos. Acreditamos ter encontrado no processo avaliativo o maior entrave durante o planejamento e implementação do produto: apresentar objetivos claros de avaliação durante desenvolvimento das atividades de leitura, visto o incômodo dos pesquisados em não ter uma “prova objetiva”, com questões que abordassem o tema proposto nos textos.

## Referências Bibliográficas

- ABDALLA, M. C. B. Sobre o Discreto Charme das Partículas Elementares. **Física na Escola**, São Paulo, v. 6, n. 1, p. 38-44, Maio 2005. Disponível em: <<http://www.sbfisica.org.br/fne/Vol6/Num1/charme.pdf>>. Acesso em: 22 dez. 2018.
- AFONSO, A. J. Políticas avaliativas e accountability em educação - subsídios para um debate iberoamericano. **Sísifo: Revista de Ciências da Educação**, n. 9, p. 57-70, MAI/AGO 2009. Disponível em: <<https://dialnet.unirioja.es/ejemplar/228946>>. Acesso em: 27 out. 20018.
- AGUILAR, A. C. Diagramas de Feynman: O poder de uma imagem. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, São Paulo, v. 40, n. 4, 02 jul. 2018. ISSN 1806-9126. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/rbef/v40n4/1806-9126-RBEF-40-4-e4205.pdf>>. Acesso em: 17 out. 2019.
- ALARCÃO, I. **Professores reflexivos em uma escola reflexiva**. 4. ed. São Paulo: Cortez, 2005.
- ASSIS, A.; TEIXEIRA, O. P. B. **Algumas reflexões sobre a utilização de textos alternativos em aulas de física**. IV Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências. Bauru: [s.n.]. 2003.
- BARDIN, L. **Análise de Conteúdo**. Lisboa: Edições 70, 2002. 226 p.
- BOURDIEU, P. O campo científico. In: ORTIZ, R. **A sociologia de Pierre Bourdieu**. 1ª. ed. São Paulo: Olho d'Água, 1983. p. 112-143.
- BOURDIEU, P. As categorias do juízo professoral. In: NOGUEIRA, M. A.; CATANI, **Escritos de Educação**. 16. ed. Petrópolis: Vozes, 2015. p. 205- 242.
- BOURDIEU, P. **Homo academicus**. Tradução de Ione Ribeiro VALLE e Nilton VALLE. 2ª. ed. Florianópolis: Editora UFSC, 2017. 310 p.
- BUENO, W. C. Comunicação científica e divulgação científica: aproximações e rupturas conceituais. **Informação & Informação**, Londrina, v. 15, n. 1 especial, p. 1-12, 2010. Disponível em: <<http://www.uel.br/revistas/uel/index.php/informacao/article/view/6585/6761>>. Acesso em: 26 out. 2018.

BUENO, W. D. C. B. Jornalismo científico: revisitando o conceito. In: VICTOR, C.; CALDAS, C.; BORTOLEIRO, S. **Jornalismo científico e desenvolvimento sustentável**. São Paulo: All Print, 2009. p. 157-178.

CAHN, R.; GOLDHABER, G. **The experimental foundations of particle physics**. 2<sup>a</sup>. ed. New York: Cambridge University Press, 2009. 554 p.

CASASSUS, J. Uma nota crítica sobre a avaliação estandardizada: a perda de qualidade e a segmentação social. **Sísifo: Revista de Ciências da Educação**, n. 9, p. 71-78, MAI/AGO 2009. Disponível em: <<https://dialnet.unirioja.es/ejemplar/228946>>. Acesso em: 26 out. 2018.

CASTRO, S. R. F. **A abordagem do plágio nos livros didáticos do ensino fundamental e na visão de autores**. Universidade de Brasília. Brasília, p. 122. 2017.

CATANI, D. B. HISTÓRIA DAS PRÁTICAS DE AVALIAÇÃO NO BRASIL: Provas, exames e testes ou a longa provação dos alunos rumo à distinção ou ao “triumfo escolar” (1890-1960). **Currículo sem Fronteiras**, v. 17, p. 8-14, jan./abr 2017. Disponível em: <<http://www.curriculosemfronteiras.org/vol17iss1articles/catani.pdf>>. Acesso em: 25 out. 2018.

CATANI, D. B.; GALLEGO, R. D. C. **Avaliação**. São Paulo: ed. Unesp, 2009.

CERN. **ALICE**, 2018. Disponível em: <<https://home.cern/science/experiments/alice>>. Acesso em: 17 dez. 2018.

CERN. **Íons pesados e plasma de quarks e glúons**, 2018. Disponível em: <<https://home.cern/science/physics/heavy-ions-and-quark-gluon-plasma>>. Acesso em: 16 dez. 2018.

CHARLOT, B. **Da relação com o Saber: elementos para uma teoria**. Porto Alegre: Artmed, 2000. 93 p.

CHUNG, K. C. **Introdução à Física Nuclear**. Rio de Janeiro: EdUERJ, 2001. 286 p.

DENEGRI, D. et al. **L'aventure du Grand Collisionneur LHC: Du big bang au boson de higgs**. Les Ulis: EDP Sciences, 2014. 315 p.

DOREMALEN, L. V. **Beauty of the Quark Gluon Plasma: Prospect for B<sup>0</sup> measurement in ALICE**. Utrecht University. Utrecht, p. 53. 2017.

GIUDICE, G. F. **L'odyssée du Zeptospace: Un voyage au coeur de la physique du LHC**. 1<sup>a</sup>. ed. Lausanne: Presses polytechniques et universitaires romandes, 2013. 348 p.

GRIFFITHS, D. **Introduction to Elementary Particles**. 2<sup>a</sup>. ed. Weinheim: Berlin, 2008. 470 p.

JAHNKE, C. **Espectro de elétrons provenientes de hádrons que contêm quarks pesados em colisões de próton-chumbo a  $\sqrt{s_{NN}} = 5,02$  TeV usando os detectores TPC e EMCAL do ALICE no LHC**. Universidade de São Paulo. São Paulo, p. 244. 2016.

LIMA, C. E. F. **Estudo da Energia transversal eletromagnética em colisões Pb-Pb  $s_{NN}=2,76$  TeV com o experimento ALICE**. Universidade de São Paulo. [S.l.]. 2017.

LORDÊLO, F. S.; PORTO, C. D. M. DIVULGAÇÃO CIENTÍFICA E CULTURA CIENTÍFICA: CONCEITO E APLICABILIDADE. **Revista Ciência em Extensão**, São Paulo, v. 8, p. 18-34, Janeiro 2012. ISSN 1679-4605. Disponível em: <[https://ojs.unesp.br/index.php/revista\\_proex/issue/view/20](https://ojs.unesp.br/index.php/revista_proex/issue/view/20)>. Acesso em: 11 ago. 2018.

LUCKESI. **Avaliação da aprendizagem escolar**. 17. ed. São Paulo: Cortez, 2005. 180 p.

LUCKESI, C. **Avaliação da aprendizagem escolar**. São Paulo: Cortez, 1995. 180 p.

MARTINS, J. B. **A história do átomo de Demócrito aos quarks**. Rio de Janeiro: Ed. Ciência Moderna, 2001. 334 p.

MENEGAT, T. M. C.; WEBER, S. S. F. **O uso de textos de divulgação científica em aulas de física e a avaliação de sua aprendizagem: abordagens inovadoras**. XI Encontro de Pesquisa em Ensino de Física. Curitiba: [s.n.]. 2008. p. 13.

MOREIRA, M. A. Partículas e Interações. **Física na Escola**, São Paulo, p. 10-14, Outubro 2004. ISSN 1983-6430. Disponível em: <<http://www.sbfisica.org.br/fne/Vol5/Num2/v5n1a03.pdf>>. Acesso em: 14 out. 2019.

MOREIRA, M. A. O Modelo Padrão da Física de Partículas. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, Porto Alegre, v. 31, n. 1, 30 Abril 2009.

MOREIRA, M. A. **Teorias de Aprendizagem**. 2<sup>a</sup>. ed. São Paulo: EPU, 2011. 196 p.

NUNES, E. D. R. **Ensino de Conceitos físicos no ensino médio e as contribuições dos objetos de aprendizagem**. Faculdade de Educação, Universidade de São Paulo. São Paulo, p. 300. 2011.

OSTERMANN, F. Um Texto para Professores do Ensino Médio sobre Partículas Elementares. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 4, n. 3, p. 415 - 436, 1998.

OSTERMANN, F.; CAVALCANTI, C. J. D. H. Física moderna e contemporânea no ensino Médio: elaboração de material didático, Em forma de pôster, sobre partículas Elementares e interações fundamentais. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, Florianópolis, v. 16, n. 3, p. 267-286, dez. 1999.

OSTERMANN, F.; CAVALCANTI, C. J. D. H. Um pôster para ensinar Física de Partículas na escola. **Física na Escola**, v. 2, n. 1, p. 13-18, 2001.

OSTERMANN, F.; CAVALCANTI, C. J. D. H. **Teorias de Aprendizagem**. 1ª. ed. Porto Alegre: Evangraf, 2011. 58 p.

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 Catarinense de Física**, Florianópolis, v. 18, n. 2, p. 135-151, 2001.

PATY, M. **A física do século XX**. Tradução de Pablo MARICONDA. São Paulo: Ideias & Letras, 2009. 494 p.

RIBEIRO, R. A.; KAWAMURA, M. R. D. **Divulgação Científica e Ensino de Física: Intenções, Funções e Vertentes**. X Encontro de Pesquisa em Ensino de Física. Londrina: [s.n.]. 2006.

ROCHA, M. B. O potencial didático dos textos de divulgação científica segundo professores de ciências. **Revista Brasileira de Ensino de Ciência e Tecnologia**, Curitiba, v. 5, n. 2, p. 47-68, mai-ago 2012.

SALEM, S. **Estruturas conceituais no ensino de física**. Instituto de Física – Faculdade de Educação, Universidade de São Paulo. São Paulo. 1986.

SALÉM, S.; KAWAMURA, M. R. D. **O texto de divulgação e o texto didático: Conhecimentos diferentes?** V Encontro de Pesquisadores em Ensino de Física. Águas de Lindoia: [s.n.]. Setembro 1996. p. 588-598.

SERWAY, R. A. **Física 4: para cientistas e engenheiros com Física Moderna**. 3ª. ed. Rio de Janeiro: LTC, 1996. 287 p.

SHAW, G.; MARTIN, B. R. **particle physics**. 3ª. ed. Manchester: Wiley, 2013. 464 p.

SILVA, H. C. D.; ALMEIDA, M. J. P. M. **Uma revisão de trabalhos sobre o funcionamento de textos alternativos ao livro didático no ensino da Física**. II ENCONTRO NACIONAL DE PESQUISA EM EDUCAÇÃO EM CIÊNCIAS. Valinhos: [s.n.]. SET 1999.

SILVEIRA, E. D. Chip das colisões de partículas. **Revista FAPESP**, São Paulo, n. 253, p. 74-75, Março 2017. Disponível em: <<https://revistapesquisa.fapesp.br/2017/03/17/chip-das-colisoes-de-particulas/>>. Acesso em: 23 dez. 2018.

SOLÉ, I. **Estratégias de leitura**. 6ª. ed. Porto Alegre: Artmed, 2007. 194 p.

TERRAZZAN, E. A.; GABANA, M. Um estudo sobre o uso de atividade didática com texto de divulgação científica em aulas de física. **IV Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências**, Bauru, n. 4, 2003.

TERRAZZAN, E. A.; MENEZES, L. C. D. **Perspectivas para a inserção da física moderna na escola média**. Universidade de São Paulo. São Paulo. 1994.

THOMSON, M. **Modern Particle Physics**. [S.l.]: Cambridge University Press, 2013. 554 p.

TIPLER, P. A.; LLEWELLYN, R. A. **Física Moderna**. 3ª. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2001. 518 p.

VOGT, C. A espiral da cultura científica. ComCiência: Revista Eletrônica de Jornalismo Científico. **Resista Eletrônica de Jornalismo Científico**, n. 45, Julho 2003. Disponível em: <<http://www.comciencia.br/dossies-1-72/reportagens/cultura/cultura01.shtml>>. Acesso em: 28 ago. 2018.

VOGT, C. De Ciências, divulgação, futebol e bem-estar cultural. In: PORTO, C.; BROTAS, A. M. P.; BORTOLEIRO, S. T. **Diálogos entre ciência e divulgação científica**. Salvador: Edufba, 2011.

WATANABE, G. **Construindo subsídios para a promoção da educação científica em visitas a laboratórios de pesquisa**. Universidade de São Paulo. Instituto de Física – Faculdade de Educação. São Paulo. 2012.

WATANABE, G. **A divulgação científica produzida por cientistas: contribuições para o capital cultural**. Instituto de Física – Instituto de Química – Instituto de Biociências – Faculdade de Educação, Universidade de São Paulo. São Paulo. 2015.

WATANABE, G.; KAWAMURA, M. R. D. A divulgação científica e os físicos de partículas: a construção social de sentidos e objetivos. **Ciência & Educação**, Bauru, v. 23, n. 2, p. 303-320, abr/jun 2017. Disponível em: <<https://doi.org/10.1590/1516-731320170020002>>. Acesso em: 18 jul. 2018.

YOUNG, H. D.; FREEDMAN, R. A. F. **Física IV: ótica e física moderna**. 12<sup>a</sup>. ed. São Paulo: Pearson, 2009. 420 p.

ZIMMERMANN, A. **Production of strange hádrons in charged jets in Pb–Pb collisions measured with ALICE at the LHC**. Ruprecht-Karls-Universität Heidelberg. Bad Kreuznach. 2016.

ZOLNERKEVIC, I. Sopa primordial. **Pesquisa Fapesp**, São Paulo, n. 213, p. 54-57, Novembro 2013. Disponível em: <[https://revistapesquisa.fapesp.br/wp-content/uploads/2013/11/054\\_057\\_Book\\_214.pdf](https://revistapesquisa.fapesp.br/wp-content/uploads/2013/11/054_057_Book_214.pdf)>. Acesso em: 22 dez. 2018.

ZORZETTO, R. Ponto de encontro. **Pesquisa FAPESP**, São Paulo, n. 147, p. 18-27, Maio 2008. Disponível em: <<https://revistapesquisa.fapesp.br/2008/05/01/ponto-de-encontro/>>. Acesso em: 21 dez. 2018.

## Apêndice A: Produto educacional



UNIVERSIDADE FEDERAL DO ABC  
MESTRADO NACIONAL PROFISSIONAL EM ENSINO DE FÍSICA

### **A DIVULGAÇÃO CIENTÍFICA PARA ENSINAR FÍSICA DE PARTÍCULAS: PROPOSTAS PARA SALA DE AULA NO ENSINO MÉDIO**

*Manual do Professor*

André Lima Gomes  
Profa. Dra. Graciella Watanabe

Santo André – SP  
Setembro de 2019



Autorizo a reprodução e divulgação total ou parcial deste trabalho, por qualquer meio convencional ou eletrônico, para fins de estudo e pesquisa, desde que citada a fonte.

### FICHA CATALOGRÁFICA

Gomes, André Lima

A divulgação científica para ensinar Física de Partículas: propostas para sala de aula no Ensino Médio / André Lima Gomes – 2019.

29 fls.: il.

Orientadora: Profa. Dra. Graciella Watanabe

Produto Educacional de Dissertação (Mestrado) — Universidade Federal do ABC, Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física - MNPEF, Santo André, 2019.

Referências Bibliográficas:

1. Divulgação Científica. 2. Ensino de Física. 3. Física de Partículas. 4. Textos. I. Watanabe, Graciella. II. Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física - MNPEF. III. Título.

“O educador democrático não pode negar-se o dever de, na sua prática, reforçar a capacidade crítica do educando, na sua curiosidade, sua insubmissão.”

Paulo Freire (Pedagogia da Autonomia)

## Sumário

<b>Apresentação .....</b>	<b>110</b>
<b>Introdução .....</b>	<b>112</b>
<b>1.Explorando textos de divulgação científica para ensinar física de partículas na sala de aula.....</b>	<b>114</b>
1.1 Critérios de seleção de textos.....	114
1.2 Roteiros .....	117
1.3 Descrição das etapas das atividades de ensino aprendizagem.....	119
<b>2.Usos de TDC para abordar física de partículas baseados em roteiros educacionais.....</b>	<b>122</b>
2.1 Roteiro 1: Ponto de encontro .....	122
2.2 Roteiro 2: Sobre o Discreto Charme das Partículas Elementares.....	124
2.3 Roteiro 3: “Sopa” primordial.....	125
<b>Referências Bibliográficas .....</b>	<b>129</b>

## **Apresentação**

Caro Professor,

Este manual é o resultado da elaboração e aplicação de uma pesquisa integrante de uma dissertação de mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação da Universidade Federal do ABC no Curso de Mestrado Profissional de Ensino de Física (MNPEF). Temos o objetivo de, por meio deste material, oferecer-lhe o apoio necessário para construir e aplicar atividades de leitura para ensinar Física a partir de textos de divulgação científica.

Assim, a nossa pesquisa parte de duas premissas: primeira, inserir tópicos de física moderna e contemporânea (FMC) no currículo de física no Ensino Médio e, para tanto, encontramos na física de partículas o potencial necessário para avivar a aprendizagem dos alunos, atrelando o conhecimento físico aos desafios da sociedade moderna, conectando-os a uma ciência de fronteira e com uma produção efervescente; e segunda, verificar quais as possibilidades de inserção de textos de divulgação científica como alternativa para ensinar conteúdos de física.

Com o objetivo de apresentar e discutir uma proposta de prática de ensino de Física, temos duas inquietações: em um primeiro plano, os pressupostos nos quais o professor baseia seu trabalho, ou seja, a noção de currículo, metodologias de ensino-aprendizagem e uma avaliação da aprendizagem que norteie a prática letiva; e, em um segundo plano, as questões objetivas do trabalho docente, nesse sentido podemos discutir as condições de trabalho, carga horária, equipamentos para demonstrações experimentais, entre outros. Confesso termos maior inclinação em discutir os aspectos relacionados ao currículo e à avaliação da aprendizagem, e, assim, buscar adquirir repertório para inovar nossos métodos e inserir em nossas aulas outras maneiras de exposição e demonstrações de conceitos da Física, que possam auxiliar no pensar e no repensar do ensino de Física para propiciar maior entendimento do aluno sobre o assunto estudado, principalmente ao que se refere à Física Contemporânea.

Partindo dessa hipótese, o projeto aqui apresentado tem o intento de aprofundar essas questões relacionadas à utilização de textos de divulgação científica em sala de aula, destacando as suas potencialidades de utilização, bem como oferecer possíveis alternativas de ações, por meio da avaliação, que norteiem a escolha das estratégias de ensino/aprendizagem

com vistas a desencadear uma aprendizagem efetiva dos conteúdos<sup>1</sup>, na qual educador e educando estabeleçam uma relação com o mundo, com o outro, e com ele mesmo, de um sujeito confrontado com a necessidade de aprender (CHARLOT, 2000).

Ademais, apresentamos e defendemos a nossa proposta sem a pretensão ou o peso de ser uma resposta definitiva que acudirá o ensino da Física do seu atraso já conhecido, mas que precisa ser entendida como uma, dentre muitas possibilidades, de se levar o ensino da Física Moderna e Contemporânea para as aulas do Ensino Médio. Ficamos abertos a colaborações, críticas e sugestões para o aprimoramento desta proposta de ensino.

Os autores,

André Lima Gomes  
[andre.lima@ufabc.edu.br](mailto:andre.lima@ufabc.edu.br)

Profa. Dra. Graciella Watanabe  
[graciella.watanabe@ufabc.edu.br](mailto:graciella.watanabe@ufabc.edu.br)

---

<sup>1</sup> Na noção de conteúdo entra a discussão sobre o currículo e seus desdobramentos dentro das perspectivas da BNCC e da matriz curricular do Estado de São Paulo.

## Introdução

Muitos trabalhos indicam a necessidade de se remodelar o currículo das escolas de Ensino Médio (EM), pois podemos perceber uma importante defasagem dele em relação ao desenvolvimento da ciência atualmente. Em especial, a Física que é ensinada nas escolas, pautada pelo ENEM e os grandes vestibulares, tem seus tópicos centrados na Física Clássica (Mecânica, Termologia, Ótica Geométrica, Ondas e Eletromagnetismo), ou seja, é apresentada apenas a física desenvolvida até o final do século XIX. No entanto, o tratamento de todos os tópicos da física não é palpável, uma vez que o tempo destinado ao ensino desse conteúdo na educação média não é suficiente para dar conta de todos os saberes que estão associados a ele. Nesse contexto, faz-se necessário fazer escolhas que dependem da realidade em que a escola está inserida – restrição de horário, tamanho da turma, etc. – e, primordialmente, de elencar critérios que indiquem quais os fenômenos físicos são mais relevantes nesse mundo contemporâneo e tecnológico. Paralelamente, o professor pode se sentir inseguro em se lançar a qualquer mudança no domínio escolar, bem como pode estar sujeito a um sistema de ensino que dificulta qualquer tipo de inovação, com pouca flexibilidade e com um compromisso exacerbado com resultados nos vestibulares.

Assim, no presente trabalho, defendemos a inserção de temas relacionados à ciência moderna, isto é, que tópicos de física moderna e contemporânea (FMC) façam parte das aulas de física no Ensino Médio, vinculando-as ao mundo moderno. Para tanto, acreditamos que a inserção de física de partículas (FP) cumpra perfeitamente esse papel e fomente uma efetiva aprendizagem, conectando a física às necessidades e desafios da sociedade moderna e, assim, despertem o interesse e motivação dos educandos, visto que estamos lidando com uma ciência de fronteira com uma produção efervescente e, portanto, seguindo uma tendência já apontada por Terrazzan (1994), que com um trabalho já consagrado, aponta um movimento mundial que corrobora a nossa proposta.

Dialogando com esse debate, acredita-se que para formar um cidadão protagonista e participativo na sociedade é necessário proporcionar-lhe acesso a uma educação científica, não apenas no sentido prático do aprendizado escolar, mas também no sentido da física como visão de mundo, como cultura (OSTERMAN e CAVALCANTE, 2001). Nesse sentido, a inserção de textos de divulgação científica (TDC) nos processos de ensino aprendizagem torna-se uma alternativa viável, aproximando os pesquisadores dos nossos educandos no Ensino

Médio. Existe uma quantidade importante de trabalhos investigativos na área de ensino de física que apresentam reflexões e propostas de utilização da DC no Ensino Médio (ASSIS e TEIXEIRA, 2003; OSTEMAN e CAVALCANTE, 1998; OSTEMAN E MOREIRA, 2001; SANTIAGO, ARAUJO e NORONHA, 2017; TERRAZZAN e GABANA, 2003; SILVA e ALMEIDA; 1999; RIBEIRO e KAWAMURA, 2006).

A utilização da DC para promoção da educação científica vai além de assumir a missão de atingir um público mais amplo traduzindo uma linguagem especializada para uma mais leiga, é muito mais amplo que expor os resultados advindos da produção científica e acadêmica. A DC reflete conjuntamente o saber e a produção da ciência, assim o cientista que assume o papel de divulgador da ciência pode se reconhecer como interlocutor do diálogo entre o conhecimento produzido pela ciência e o relacionado a ela (WATANABE, 2012). Não obstante, a nossa preocupação também perpassa em como se dá o acesso ao conhecimento científico, qual a qualidade do conteúdo veiculado pelos canais de comunicação, remetendo-nos à necessidade de problematizar como essas informações são incorporadas pelos aprendizes e como esse conhecimento é utilizado na tomada de decisões em situações cotidianas. Para além da utilização de TDC's, a nossa discussão pretende aproximar professores de tópicos de FMC, especialmente a FP, e apontar caminhos que indiquem que esses tópicos são acessíveis e que podem ser abordados no Ensino Médio.

É importante reconhecer, ainda, acerca dos modos como podemos compreender essas dificuldades encontradas pelos alunos em suas práticas educativas na escola. Sendo, por vezes, desafiador propor ações de inserção de divulgação nas aulas de física que possibilitem ser significativas aos alunos ao mesmo tempo em que o professor possa ter subsídios para compreender como eles estão entendendo tais ações.

Acreditamos que a divulgação científica produzida na fronteira entre o campo científico e o espaço escolar exerce uma influência importante sobre a atualização do currículo de Física na educação básica no Brasil, tendo em vista as implicações nos contextos tecnológicos, ambientais, sociais, políticos e econômicos. E um dos caminhos a serem explorados é a efetiva inserção da Física Moderna e Contemporânea a partir da Física de Partículas no currículo do Ensino Médio, que traz consigo a dificuldade de aproximação entre as pesquisas produzidas nos grandes centros e a sua abordagem em sala de aula.

## **1. Explorando textos de divulgação científica para ensinar física de partículas na sala de aula**

Ensinar Física de Partículas não é nada fácil, os conceitos atrelados a esse campo do conhecimento não são intuitivos e, no geral, não são encontradas analogias clássicas. Nesse sentido, preocupados com essa temática, propusemos Atividades de Ensino e Aprendizagem com o objetivo de ensinar conhecimentos de Física de Partículas para o Ensino Médio. Acreditamos que a inserção de textos de DC como recurso didático para o ensino de Física pode oportunizar novas práticas de leitura no contexto da sala de aula, com discussões e debates, promovendo nos educandos a formação de opinião. Desse modo, a leitura pode aperfeiçoar a apreensão de termos e/ou conceitos científicos, tornando a aula colaborativa e promovendo nos alunos as habilidades leitora e escritora, melhorando o seu vocabulário e, assim, contribuindo para a vida do aluno.

Nesse sentido, inicialmente, pretendemos lançar mão de possíveis critérios para a seleção dos TDC, bem como elencar possíveis estratégias de utilização de TDC para o ensino de física de partículas, buscando compreender como se dará a relação do educador e dos educandos com esse saber durante os processos de ensino aprendizagem. Em um segundo momento, pretende-se apresentar uma proposta de roteiro de Atividades de Ensino Aprendizagem que proporcionem uma aprendizagem efetiva de conceitos de Física de Partículas selecionados para estudantes do Ensino Médio.

### **1.1 Critérios de seleção de textos**

Acreditamos que este seja um item crucial para o sucesso das atividades de ensino aprendizagem, pois a escolha de um TDC que atenda às expectativas de trabalho em sala não é trivial e deve se adequar às características inerentes a turma em que se vão desenvolver as atividades, ou seja, quais os objetivos de leitura? Como será a relação texto-aluno? O tipo de difusão científica se aproxima do nível de competência da turma? A fonte do texto tem credibilidade? Tentaremos aqui indicar possíveis critérios de seleção de textos de divulgação científica.

#### **As fontes dos TDC's têm credibilidade?**

Com o advento da internet, a acessibilidade a notícias e informações de naturezas diversas foi enormemente facilitada. Tudo que se quer saber está a um clique de distância. Esse imediatismo se tornou um campo fértil para o aparecimento de novas formas e fontes de di-



vulgarização científica, a citar: portais, blogs, canais de vídeo (também conhecidos como vídeo blog) na plataforma YouTube, revistas e jornais impressos e eletrônicos, sites atrelados a laboratórios de pesquisa, podcasts etc.

Essa multiplicidade de fontes de notícias e divulgação de pesquisa e acontecimentos científicos enseja uma variação na qualidade do texto, a verossimilhança do conhecimento divulgado e a tradição do meio de comunicação em desenvolver esse tipo de trabalho.

Possíveis critérios de seleção, quanto à credibilidade das fontes:

- **Notórios conhecimento e competência científicos:** indicamos que as fontes de TDC precisam estar atreladas a periódicos impressos ou eletrônicos sob a tutoria de institutos de pesquisa, órgãos governamentais, instituições de ensino respeitadas (UERJ, UFABC, UFBA, UFMG, UFPE, UFRJ, UFRGS, UFRN, UNB, UNESP, UNICAMP, etc.), associações científicas (SBF, SBPC, ABRAPEC, etc.), bem como as publicações mantidas por agências de fomento à pesquisa como CNPq, CAPES, FAPESP, FAPERJ, FAPEMIG, etc. Essas publicações têm uma representatividade importante na comunidade científica e têm um interesse especial em difundir de maneira ilibada e precisa questões atreladas a questões científicas.
- **Fontes atualizadas:** O desenvolvimento científico é dinâmico e incessante, ou seja, a ciência está acontecendo, expandindo a nossa compreensão do universo. Por conseguinte, cientistas e divulgadores publicam uma quantidade considerável de artigos por ano em diferentes áreas de investigação científica. Essa profusão de material de divulgação científica pode acarretar que fontes de artigos de cunho científico tornem-se desatualizadas se não forem alimentadas periodicamente.
- **Qualis:** Mantido pela CAPES, o *Qualis* representa um sistema utilizado para avaliar a produção de periódicos utilizados por programas de pós-graduação para a divulgação da sua produção científica. A CAPES fornece uma lista com a classificação das publicações, a partir da análise feita por comitês de consultores de cada área do conhecimento e de critérios já estabelecidos, observando o grau de importância, qualidade e abrangência das produções. A partir desses critérios, o docente terá uma boa noção do quão crível é a publicação a ser selecionada, tendo em vista que a classificação imposta pelo *Qualis* tem um rigor importante e respeitado pelo meio acadêmico.

- **Citações:** Em geral, é comum e muito bem quisto que algumas publicações científicas deem crédito a pesquisas relacionadas ao tema apresentado, indicando uma série de citações. Consequentemente, podemos avaliar a qualidade a credibilidade do TDC a partir das fontes citadas: possivelmente um artigo científico que apresente citações primárias de grandes laboratórios ou outros artigos científicos de publicações com *Qualis* melhor classificado. Quanto melhor a qualidade (*Qualis*) nas citações de artigos de publicações científicas fornecidas, mais fiel será o retrato apresentado da ciência envolvida, em detrimento de uma publicação permeada de referências desconhecidas, insuficientes ou inexistentes. Esse critério de seleção, além de ajudar a escolher o texto mais adequado para a atividade planejada, pode auxiliar na verificação das informações, bem como no aprofundamento de questões relacionadas ao tema tratado.

### **Tipo de divulgação científica: o texto possui uma linguagem adequada para o público alvo?**

A partir do capítulo 1, em que delimitamos a nossa noção de divulgação científica, temos a clareza em afirmar que o sucesso na utilização de TDC's para ensinar Física está intimamente ligado à complexidade do texto escolhido para as atividades. Um Texto de Divulgação Científica reclama uma linguagem mais acessível a um público não especializado, porém nem sempre o divulgador é feliz em sua tarefa, e o texto pode apresentar um léxico pouco agradável a um estudante do Ensino Médio.

Portanto, o critério de escolha de um texto necessita levar em consideração a adequação dele a seu público alvo, isto é, o texto precisa ter uma linguagem que acolha os estudantes, com a qual eles se sintam confortáveis em lê-los e se percebam autônomos em construir uma compreensão própria.

### **O texto: Relações com o conteúdo e com o leitor**

Isabel Solé (2007) aponta em sua obra a importância de se ter clareza dos objetivos que irão balizar a leitura e como isso influencia a interpretação do leitor, sendo que essa interpretação não vem do texto, mas da relação que o educando estabelece entre o que se lê, seus conhecimentos prévios e, principalmente, a compreensão da linguagem expressa no texto. Assim, uma boa escolha de um TDC implica uma relação texto-aluno mais amistosa, em que o aluno se sente apto e encorajado a ler e compreender o texto de forma autônoma ou com intervenções sutis do professor ou dos seus pares (SOLÉ, 2007).

O aluno é, em tese, um leitor “consciente do que entende e do que não entende”. Desse modo, a sua compreensão de um conteúdo por meio da leitura de TDC é o resultado, também, da “clareza e coerência do conteúdo dos textos, da familiaridade ou conhecimento da sua estrutura e do nível aceitável do seu léxico, sintaxe e coesão interna.” (SOLÉ, 2007, p. 70).

Isso posto, com o texto escolhido a partir dos critérios de seleção dos elencados acima, o nosso próximo passo é conceber um formato para a construção dos roteiros.

## 1.2 Roteiros

A nossa proposta de roteiro de atividades de ensino aprendizagem (produto educacional) tem por objetivo oferecer subsídios aos professores de física para uma nova prática de ensino, para além da resolução mecânica de situações problema apresentadas nos livros didáticos, mas uma prática que fomente a formação crítica nos educandos, na qual eles sejam capazes de aprender de forma autônoma a partir dos textos propostos, isto é, que a leitura se torne uma ação prazerosa e “automotivada”. O professor, segundo Solé (2007), por sua vez, deve assumir um papel de mediador que incentiva o protagonismo do aluno frente à atividade proposta, sempre levando em consideração a complexidade que caracteriza a leitura, como também a maturidade dos educandos envolvidos nesse processo.

Seguindo os preceitos de Solé (2007), cada atividade de leitura deve ser balizada por três preceitos: as atividades “antes da leitura”, que passam pela motivação para a leitura, ou seja, segundo a autora “[...] nenhuma tarefa de leitura deveria ser iniciada sem que as meninas e meninos se encontrem motivados para ela, sem que esteja claro que lhe encontram sentido” (SOLÉ, 2007, p. 91), sendo este, portanto, o momento de se estabelecerem os objetivos para a leitura. As atividades “durante a leitura” proporcionam o momento de construir a compreensão do texto no momento da sua leitura, em que “[...] o leitor possa estabelecer previsões coerentes sobre o que está lendo, que as verifique e se envolva em um processo ativo de controle da compreensão.” (SOLÉ, 2007, p. 118). E, por fim, as atividades “depois da leitura”, que devem permitir aos estudantes a “identificação da ideia principal, elaboração de resumo e formulação de respostas de perguntas” (SOLÉ, 2007, p. 133), e que eles possam confrontar os seus conhecimentos iniciais (se for o caso) com o conteúdo apreendido depois da leitura do texto, fazendo uma síntese das ideias centrais do texto em questão.

O processo de avaliação sugerido segue a tríade: avaliação inicial, avaliação formativa e avaliação somativa. Para Solé (2007):

“[...] o que se propõe para ensinar é partir de onde está o aluno, garantir que a tarefa de aprendizagem constitua um desafio ao seu alcance, intervir de tal forma que se possa proporcionar a ajuda necessária e constatar que progressivamente, ele pode usar com competência as estratégias ensinadas de forma autônoma.” (SOLÉ, 2007, p.164)

A **avaliação diagnóstica**, de natureza investigativa, dar-nos-á elementos de como os educandos, ao lerem os TDC, colocam-se diante do tema abordado e se o aluno apresenta ou não habilidades, competências e pré-requisitos para as atividades de ensino aprendizagem propostas. Essa avaliação deve acontecer no início<sup>2</sup> das atividades, a fim de fornecer elementos que indiquem as condições em que o processo de ensino-aprendizagem vai acontecer, assim o professor poderá planejar ou replanejar as suas ações durante as atividades propostas. A **avaliação formativa**, com um caráter quantitativo, vai apoiar e nos dar subsídios que indiquem, à medida que as atividades de ensino aprendizagem forem realizadas, o quanto os estudantes estão alcançando os objetivos propostos pelas estratégias de leitura. Dessa forma, avaliaremos o quanto os educandos avançam a cada etapa das atividades propostas, indicando possíveis avanços e/ou retrocessos subsequentes aos processos de ensino-aprendizagem, oportunizando ao professor identificar dificuldades de aprendizagem e deficiências na forma de ensinar. A **avaliação somativa**, com um viés quantitativo, tem como principal incumbência indicar os níveis de aproveitamento previamente estabelecidos, contribuindo na apresentação de resultados mais abrangentes obtidos ao final da atividade de ensino aprendizagem apresentada, bem como outorgar os resultados alcançados, atribuindo-lhes uma nota.

A nossa sugestão é que a leitura de TDC, com vistas ao envolvimento dos educandos durante os processos de ensino aprendizagem, seja articulada com essas estratégias de leitura para facilitar a aprendizagem de conceitos básicos de Física de Partículas no Ensino Médio por meio de textos de divulgação científica tendo como temas: os constituintes da matéria, a cromodinâmica quântica e o plasma de quarks e glúons. A estratégia didática utilizada foi a organização de atividades sequenciais compostas de 5 (cinco) aulas com duração de 45 (quarenta e cinco) minutos cada, com 5 (cinco) atividades e deve ser aplicada com estudantes do terceiro ano do Ensino Médio.

---

<sup>2</sup> Nada impede, na busca de um processo avaliativo mais eficiente, que a avaliação diagnóstica seja utilizada durante as atividades de ensino aprendizagem.

### 1.3 Descrição das etapas das atividades de ensino aprendizagem

A seguir, temos uma breve descrição dos momentos antes, durante e depois da leitura:

#### i. Antes da leitura

- Seleção do texto: Nesta etapa, segundo os critérios de seleção indicados anteriormente, o docente deve escolher quais textos atendem às demandas de aprendizagem. Desse modo, propomos um questionário, para sistematizar uma análise do seu grau de concordância e preferência e se o texto possui os critérios de seleção que o docente espera. Propomos algumas perguntas para que se analise o texto pretendido, a fim de buscar perceber se ele apresenta as características desejadas:
  1. O texto apresenta uma linhagem de fácil entendimento? Ou seja, o texto é adequado para a turma com a qual se pretende trabalhar?
  2. A fonte tem notória tradição em tratar o referido tema escolhido?
  3. A fonte do TDC é confiável, isto é, está atrelada a uma publicação que tem competência a respeito do tema tratado?
  4. O tema abordado é verossímil?
  5. A publicação:
    - a) Se for um periódico, apresenta a classificação *Qualis* da CAPES?
    - b) Se for um site, um blog ou mesmo um podcast, é preciso verificar se a página pertence a um centro de pesquisa ou universidade, e/ou se faz parte de projetos desenvolvidos nesses locais.
  6. As fontes secundárias apresentadas durante o texto são confiáveis?
  7. O texto é visualmente atraente?
  8. O texto é atual?
- Introdução: Apresentação dos objetivos da atividade a serem desenvolvidas em sala e como será o desenvolvimento da proposta, incluindo o processo de avaliação de rendimento. Em um segundo momento, deve-se entregar o texto impresso para que os alunos possam levar para casa e fazer um apanhado geral do contexto do artigo indicado para leitura e a sua importância.
- Conceitos de Física: O docente deve expor aos educandos quais conceitos serão abordados a partir do TDC.

- Antecipação de conteúdo: será solicitado que os alunos façam a leitura do texto, bem como a formulação de perguntas curtas a respeito dele. Essas questões servirão de estímulo para a verificação dos objetivos da atividade de leitura e podem ser formuladas tanto pelos educandos quanto pelo docente. Podem ser do tipo: Qual o assunto da leitura? Qual o objetivo dessa leitura? Qual a relevância das informações do texto para o tema tratado?

Tempo de duração: A atividade deve ocupar uma aula de 45 minutos.

## ii. Durante a leitura

- Atividade 1: Dividir os estudantes em grupos de até quatro alunos (“organização social da sala de aula” (SOLÉ, 2007, p. 81)). Os grupos devem organizar as questões formuladas em casa para que sejam feitas, primeiramente, aos seus pares e na ausência de resposta o professor deve intervir. A todo momento, deve-se permitir e valorizar a manifestação dos alunos em relação ao que foi lido, sendo esse um passo importante para que eles saiam do “achismo” e consigam expressar suas opiniões com um bom embasamento.

Tempo de duração: A atividade deve ocupar duas aulas de 45 minutos cada uma.

- Atividade 2: O professor deve, ao fim das discussões, ministrar uma aula expositiva utilizando uma apresentação de *slides*, retomando os conceitos presentes no texto e que já foram discutidos, sempre estimulando a discussão entre os educandos. Ainda em grupo, os estudantes devem elaborar um resumo (síntese ou fichamento) a respeito dos conceitos centrais do texto.

Tempo de duração: A atividade deve ocupar duas aulas de 45 minutos cada uma.

## iii. Depois da leitura

- Avaliação: Indicamos que o processo de avaliação de desempenho dos estudantes seja desenvolvido ao longo das atividades de ensino aprendizagem, isto é, de maneira contínua, a partir do desenvolvimento das atividades de ensino aprendizagem com os TDC (tarefas desenvolvidas coletivamente e individualmente, situações de sala de aula a partir do TDC distribuído em sala, registros do professor). Porém, também acreditamos na necessidade de uma avaliação somativa, individual ou em grupo, como fechamento de cada atividade, na qual deverão ser indicadas questões e/ou situações que possibilitem identificar o grau de compreensão dos conteúdos abordados durante as atividades e que podem evidenciar a apreensão de significados e a autonomia na aprendizagem.

Há de se ter em mente que o processo avaliativo não se encerra em uma “prova” do TDC, mas em uma verificação de como os educandos se colocam frente ao texto proposto, como eles emitem opinião fundamentada no TDC. Como forma de incentivar o protagonismo dos educandos, também indicamos a realização de uma avaliação em grupo ao final de um conjunto de atividades, na qual os alunos devem produzir um material de divulgação a partir dos artigos apresentados a eles. A escolha desse material ficaria a cargo do grupo, mediante a disponibilização de TDC por parte do professor. Já a idealização da modalidade do trabalho fica a cargo dos alunos e poderia ser composto de diferentes mídias como, por exemplo, uma videoaula, documentário, folhetim, um artigo, etc.

## 2. Usos de TDC para abordar física de partículas baseados em roteiros educacionais

A partir disso, esse roteiro tem o objetivo de trabalhar quatro textos de DC para ensinar conteúdos de Física de partículas. Os textos selecionados foram:

**Texto 1: Ponto de encontro** – publicado pela revista “Pesquisa Fapesp”, em maio de 2008, e de autoria do jornalista especializado em divulgação científica Ricardo Zorzetto (2008). O texto em questão foi escolhido como introdução ao tema Física de Partículas, fazendo um ótimo relato sobre início das operações do Large Hadron Collider (LHC), dá a devida dimensão desse empreendimento e, da mesma maneira, consegue apresentar os princípios de funcionamento de um acelerador de partículas.

**Texto 2: Sobre o Discreto Charme das Partículas Elementares** – publicado no volume 6, de 2005, da revista Física na Escola e de autoria da professora e divulgadora Maria Cristina Batoni Abdalla Ribeiro (2005), autora de um livro homônimo, com um texto harmonioso, denso e de fácil leitura a autora, utilizando figuras divertidas, apresenta os conceitos relacionados às partículas elementares que compõem a matéria ajudando a desvendar o Modelo Padrão de partículas e quais são as perspectivas de avanço e elucidação de mistérios dessa teoria. Com esse texto, temos o objetivo de discutir os critérios de classificação das partículas e principalmente abordar o modelo padrão.

**Texto 3: “Sopa” primordial** – publicado pela revista Pesquisa Fapesp e produzido pelo jornalista e divulgador Igor Zolnerkevic (2013), trata, com um texto de linguagem acessível e com boas ilustrações, o Plasma de Quarks e Glúons e a participação brasileira em pesquisas desenvolvidas no acelerador de partículas LHC no CERN. O presente texto tem um perfil de apresentar o conteúdo com maior profundidade, o que veio ao encontro da intenção em abordar os conceitos relacionados à cromodinâmica quântica e ao plasma de quarks e glúons.

Então foram propostos nesse contexto os roteiros de atividades de leitura e foram organizados como apresentaremos a seguir.

### 2.1 Roteiro 1: Ponto de encontro

Para esta atividade de ensino aprendizagem, o texto escolhido foi “Ponto de encontro”. A partir da nossa escolha, construímos a seguinte abordagem em sala e seguimos as seguintes estruturas de organização da escolha e utilização do texto selecionado.



### Antes da leitura

- Introdução: A atividade proposta tem o objetivo de apresentar a necessidade da construção de um acelerador de partículas, os tipos de aceleradores e, por fim, apresentar de forma geral e abrangente o LHC e seus experimentos, ALICE, ATLAS, CMS E LHCb. A atividade terá uma duração de quatro aulas, nas quais faremos uma dinâmica com perguntas e respostas elaboradas pelos alunos, elaboração de um resumo do artigo em grupo. A avaliação será contínua e será composta pelas atividades desenvolvidas em sala e em casa.
- Conceitos de Física: Evolução dos modelos atômicos, tipos de aceleradores, o LHC e os princípios de funcionamento dos seus experimentos (ALICE, ATLAS, CMS E LHCb).
- Antecipação de conteúdo: os alunos devem ler o texto “Ponto de encontro”, fora do horário de aula, tendo como tarefa a formulação de perguntas curtas a respeito do texto.

Tempo de duração: A atividade deve ocupar uma aula (45 minutos).

### Durante a leitura

- Atividade 1: Dividir os estudantes em grupos de até quatro alunos (“organização social da sala de aula” (SOLÉ, 2007, p. 81)). Os grupos devem organizar as questões formuladas em casa para que sejam feitas, primeiramente, aos seus pares e na ausência de resposta o professor intervir.

Tempo de duração: A atividade deve ocupar uma aula (45 minutos).

- Atividade 2: O professor deve, ao fim das discussões, ministrar uma aula expositiva utilizando uma apresentação de *slides*, retomando os conceitos presentes no texto e que já foram discutidos, sempre estimulando a discussão entre os educandos. Ainda em grupo, os estudantes devem elaborar um resumo (síntese ou fichamento) a respeito dos conceitos centrais do texto.

Tempo de duração: A atividade deve ocupar duas aulas (90 minutos).

### Depois da leitura

- Avaliação: Dar-se-á de maneira contínua, a partir do desenvolvimento das atividades de ensino aprendizagem com os TDC (elaboração de perguntas, debate das possíveis repostas para as perguntas a partir do TDC distribuído em sala e o resumo/síntese). Ao final da primeira atividade, será proposto como atividade avaliativa somativa um

questionário em formato de quiz utilizando a plataforma kahoot (<https://kahoot.it/>) para deixar a atividade mais dinâmica e interativa.

## 2.2 Roteiro 2: Sobre o Discreto Charme das Partículas Elementares

Para essa atividade de ensino aprendizagem, o texto escolhido foi “Sobre o Discreto Charme das Partículas Elementares”, publicado no volume 6, número de 2005, da revista Física na Escola. Esse é um TDC produzido pela professora e divulgadora Maria Cristina Battoni Abdalla Ribeiro que, com um texto elegante e de fácil leitura, aborda os conceitos relacionados às partículas elementares que compõem a matéria ajudando a desvendar o Modelo Padrão de partículas e quais são as perspectivas de avanço e elucidação de mistérios dessa teoria.

### Antes da leitura

- Introdução: A atividade proposta tem o objetivo de apresentar o Modelo Padrão aos estudantes, bem como discutir a sua construção e o arcabouço teórico que o envolve. A atividade terá uma duração de quatro aulas, nas quais faremos, individualmente, a elaboração de uma síntese do artigo, um debate guiado por perguntas elaboradas pelo professor e, em dupla, um mapa conceitual sobre o tema abordado. A avaliação será contínua e será composta pelas atividades desenvolvidas em sala e em casa.
- Conceitos de Física: Partículas elementares, interações fundamentais e o Modelo Padrão das Partículas elementares.
- Antecipação de conteúdo: os alunos devem ler o texto “Além do Modelo Padrão”, fora do horário de aula, tendo como tarefa a elaboração de uma síntese a respeito dos conceitos centrais presentes no texto.

Tempo de duração: A atividade deve ocupar uma aula (45 minutos).

### Durante a leitura

- Atividade 1: Esta etapa deve ser iniciada com uma discussão aberta, mediada pelo professor, a respeito do conteúdo abordado no texto, a fim de estimular a curiosidade e ouvir a opinião do grupo sobre o assunto. Sem uma resposta definitiva, podemos fazer as seguintes questões:
  - i. Do que são feitas as coisas? O que as mantém unidas?
  - ii. Quais os constituintes da matéria ordinária?

- iii. Qual a constituição básica de um núcleo?
- iv. Descreva como o núcleo atômico foi descoberto por Rutherford.
- v. O que é a energia de ligação dos núcleos e como ela varia para os vários núcleos existentes na natureza?

Essas questões devem ser respondidas e entregues ao final da aula.

Tempo de duração: A atividade deve ocupar uma aula (45 minutos).

- Atividade 2: O professor deve, ao final das discussões, ministrar uma aula expositiva utilizando uma apresentação de *slides*, retomando os conceitos presentes no texto e que já foram discutidos, sempre estimulando a discussão entre os educandos.

Tempo de duração: A atividade deve ocupar duas aulas (90 minutos).

#### **Depois da leitura**

- Avaliação: Dar-se-á de maneira contínua, a partir do desenvolvimento das atividades de ensino aprendizagem com os TDC (elaboração de perguntas, debate das possíveis repostas para as perguntas a partir do TDC distribuído em sala e o resumo/síntese). Será realizada uma avaliação final em dupla, na qual os alunos devem produzir uma releitura do mapa conceitual apresentado na aula expositiva (página 19 da apresentação de *slides*).

### **2.3 Roteiro 3: “Sopa” primordial**

#### **Antes da leitura**

- Seleção do texto: Para esta atividade de ensino aprendizagem, o texto escolhido foi “Sopa’ primordial”. Esse é um TDC produzido pelo divulgador Igor Zolnerkevic que trata, com um texto de fácil leitura e com ilustrações, do Plasma de Quarks e Glúons e a participação brasileira em pesquisas desenvolvidas no acelerador de partículas LHC no CERN.
- Introdução: A atividade proposta tem o objetivo de apresentar os conceitos relacionados ao Plasma de Quarks e Glúons, bem como analisar os avanços na sua pesquisa.
- Conceitos de Física: o Plasma de Quarks e Glúons, Física de altas energias e o experimento ALICE no LHC.

- Antecipação de conteúdo: os alunos devem ler o texto “Sopa’ primordial”, fora do horário de aula, tendo como tarefa a formulação de perguntas curtas a respeito do texto.

Tempo de duração: A atividade deve ocupar uma aula (45 minutos).

#### **Durante a leitura**

- Atividade 1: Dividir os estudantes em grupos de até quatro alunos (“organização social da sala de aula” (SOLÉ, 2007, p. 81)). Os grupos devem organizar as questões formuladas em casa para que sejam feitas, primeiramente, aos seus pares e na ausência de resposta o professor deve intervir.

Tempo de duração: A atividade deve ocupar uma aula (45 minutos).

- Atividade 2: O professor deve, ao fim das discussões, ministrar uma aula expositiva, utilizando uma apresentação de *slides*, retomando os conceitos presentes no texto e que já foram discutidos, sempre estimulando a discussão entre os educandos. Ainda em grupo, os estudantes devem elaborar um resumo (síntese ou fichamento) a respeito dos conceitos centrais do texto.

Tempo de duração: A atividade deve ocupar duas aulas (90 minutos).

#### **Depois da leitura**

- Avaliação: Dar-se-á de maneira contínua, a partir do desenvolvimento das atividades de ensino aprendizagem com os TDC (elaboração de perguntas, debate das possíveis repostas para as perguntas a partir do TDC distribuído em sala e o resumo/síntese). Ao final da atividade quatro, será proposta como atividade avaliativa somativa, uma avaliação individual por meio de questões abertas envolvendo o tema exposto no texto.

## **2.4 Roteiro 4: Chip das colisões de partículas**

Para esta atividade de ensino aprendizagem, o texto escolhido foi “Chip das colisões de partículas”. Esse é um TDC produzido pelo jornalista e colaborador da Revista Pesquisa Fapesp Evanildo da Silveira, que com um texto curto e de leitura corrida, discorre a respeito da participação brasileira no upgrade na tomada de dados do experimento ALICE no LHC.

#### **Antes da leitura**

- Introdução: A atividade proposta tem o objetivo de apresentar, a partir do TDC e de uma aula expositiva, os princípios de funcionamento do experimento ALICE.

- Conceitos de Física: Mostrar o princípio de funcionamento dos detectores que compõem o experimento ALICE.
- Antecipação de conteúdo: os alunos devem ler o texto “Chip das colisões de partículas”, fora do horário de aula, tendo como tarefa fazer uma busca na internet a respeito dos métodos de detecção de partículas nos aceleradores de partículas.

Tempo de duração: A atividade deve ocupar uma aula (45 minutos).

### **Durante a leitura**

- Atividade 1: Apresentar o simulador de Despina Hatzifotiadou (fonte: <http://cds.cern.ch/record/2234596?ln=pt>) para iniciar a discussão a respeito do que os educandos pesquisaram sobre os métodos de detecção em aceleradores.

Tempo de duração: A atividade deve ocupar uma aula (45 minutos).

- Atividade 2: O professor deve, ao fim das discussões, ministrar uma aula expositiva utilizando uma apresentação de *slides* (PowerPoint), retomando os conceitos presentes nas pesquisas e que já foram discutidos, sempre estimulando a discussão entre os educandos. Em grupo, os estudantes devem elaborar um resumo (síntese ou fichamento) a respeito dos conceitos centrais apresentados durante as discussões.

Tempo de duração: A atividade deve ocupar duas aulas (90 minutos).

### **Depois da leitura**

Avaliação: Dar-se-á de maneira contínua, a partir do desenvolvimento das atividades de ensino aprendizagem com os TDC (elaboração de perguntas, debate das possíveis repostas para as perguntas a partir do TDC distribuído em sala e o resumo/síntese). Para fechar a atividade quatro, será proposto um debate dentro do grande grupo sobre a necessidade da participação brasileira em uma pesquisa de tamanha envergadura internacional.

Será realizada uma avaliação final com os alunos em grupo, após as quatro atividades de ensino aprendizagem, na qual os alunos devem produzir um material de divulgação a partir dos textos indicados. Já a idealização da modalidade do trabalho fica a cargo dos alunos e poderia ser composto de diferentes mídias como, por exemplo, uma videoaula, documentário, folheto, um artigo, etc.

Ao fim dos processos de ensino aprendizagem, o professor deverá ter elementos que indiquem se os educandos tiveram uma compreensão significativa dos conteúdos trabalhados em sala respondendo às seguintes questões:

- **O aluno entendeu as ideias gerais do texto?**

- **O aluno conseguiu associar os conhecimentos científicos com a abordagem textual?**
- **O aluno conseguiu trabalhar com os textos autonomamente?**

Em resumo, essas propostas de atividades de leitura buscaram implementar os textos de divulgação científica de forma não aleatória, baseadas em objetivos pedagógicos idealizados por nós a partir da ideia da divulgação científica como fronteira e a teoria de ensino aprendizagem por descoberta baseado nas ideias de Bruner.

## Referências Bibliográficas

- ABDALLA, M. C. B. Sobre o Discreto Charme das Partículas Elementares. **Física na Escola**, São Paulo, v. 6, n. 1, p. 38-44, Maio 2005. Disponível em: <<http://www.sbfisica.org.br/fne/Vol6/Num1/charme.pdf>>. Acesso em: 22 dez. 2018.
- AFONSO, A. J. Políticas avaliativas e accountability em educação - subsídios para um debate iberoamericano. **Sísifo: Revista de Ciências da Educação**, n. 9, p. 57-70, MAI/AGO 2009. Disponível em: <<https://dialnet.unirioja.es/ejemplar/228946>>. Acesso em: 27 out. 2018.
- AGUILAR, A. C. Diagramas de Feynman: O poder de uma imagem. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, São Paulo, v. 40, n. 4, 02 jul. 2018. ISSN 1806-9126. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/rbef/v40n4/1806-9126-RBEF-40-4-e4205.pdf>>. Acesso em: 17 out. 2019.
- ALARCÃO, I. **Professores reflexivos em uma escola reflexiva**. 4. ed. São Paulo: Cortez, 2005.
- ASSIS, A.; TEIXEIRA, O. P. B. **Algumas reflexões sobre a utilização de textos alternativos em aulas de física**. IV Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências. Bauru: [s.n.]. 2003.
- BARDIN, L. **Análise de Conteúdo**. Lisboa: Edições 70, 2002. 226 p.
- BOURDIEU, P. O campo científico. In: ORTIZ, R. **A sociologia de Pierre Bourdieu**. 1<sup>a</sup>. ed. São Paulo: Olho d'Água, 1983. p. 112-143.
- BOURDIEU, P. As categorias do juízo professoral. In: NOGUEIRA, M. A.; CATANI, **Escritos de Educação**. 16. ed. Petrópolis: Vozes, 2015. p. 205- 242.
- BOURDIEU, P. **Homo academicus**. Tradução de Ione Ribeiro VALLE e Nilton VALLE. 2<sup>a</sup>. ed. Florianópolis: Editora UFSC, 2017. 310 p.
- BUENO, W. C. Comunicação científica e divulgação científica: aproximações e rupturas conceituais. **Informação & Informação**, Londrina, v. 15, n. 1 especial, p. 1-12, 2010. Disponível em: <<http://www.uel.br/revistas/uel/index.php/informacao/article/view/6585/6761>>. Acesso em: 26 out. 2018.

BUENO, W. D. C. B. Jornalismo científico: revisitando o conceito. In: VICTOR, C.; CALDAS, C.; BORTOLEIRO, S. **Jornalismo científico e desenvolvimento sustentável**. São Paulo: All Print, 2009. p. 157-178.

CAHN, R.; GOLDHABER, G. **The experimental foundations of particle physics**. 2<sup>a</sup>. ed. New York: Cambridge University Press, 2009. 554 p.

CASASSUS, J. Uma nota crítica sobre a avaliação estandardizada: a perda de qualidade e a segmentação social. **Sísifo: Revista de Ciências da Educação**, n. 9, p. 71-78, MAI/AGO 2009. Disponível em: <<https://dialnet.unirioja.es/ejemplar/228946>>. Acesso em: 26 out. 2018.

CASTRO, S. R. F. **A abordagem do plágio nos livros didáticos do ensino fundamental e na visão de autores**. Universidade de Brasília. Brasília, p. 122. 2017.

CATANI, D. B. HISTÓRIA DAS PRÁTICAS DE AVALIAÇÃO NO BRASIL: Provas, exames e testes ou a longa provação dos alunos rumo à distinção ou ao “triumfo escolar” (1890-1960). **Currículo sem Fronteiras**, v. 17, p. 8-14, jan./abr 2017. Disponível em: <<http://www.curriculosemfronteiras.org/vol17iss1articles/catani.pdf>>. Acesso em: 25 out. 2018.

CATANI, D. B.; GALLEGO, R. D. C. **Avaliação**. São Paulo: ed. Unesp, 2009.

CERN. **ALICE**, 2018. Disponível em: <<https://home.cern/science/experiments/alice>>. Acesso em: 17 dez. 2018.

CERN. **Íons pesados e plasma de quarks e glúons**, 2018. Disponível em: <<https://home.cern/science/physics/heavy-ions-and-quark-gluon-plasma>>. Acesso em: 16 dez. 2018.

CHARLOT, B. **Da relação com o Saber: elementos para uma teoria**. Porto Alegre: Artmed, 2000. 93 p.

CHUNG, K. C. **Introdução à Física Nuclear**. Rio de Janeiro: EdUERJ, 2001. 286 p.

DENEGRI, D. et al. **L'aventure du Grand Collisionneur LHC: Du big bang au boson de higgs**. Les Ulis: EDP Sciences, 2014. 315 p.

DOREMALEN, L. V. **Beauty of the Quark Gluon Plasma: Prospect for B<sup>0</sup> measurement in ALICE**. Utrecht University. Utrecht, p. 53. 2017.



GIUDICE, G. F. **L'odyssée du Zeptospace: Un voyage au coeur de la physique du LHC**. 1<sup>a</sup>. ed. Lausanne: Presses polytechniques et universitaires romandes, 2013. 348 p.

GRIFFITHS, D. **Introduction to Elementary Particles**. 2<sup>a</sup>. ed. Weinheim: Berlin, 2008. 470 p.

JAHNKE, C. **Espectro de elétrons provenientes de hádrons que contêm quarks pesados em colisões de próton-chumbo a  $\sqrt{s_{NN}} = 5,02$  TeV usando os detectores TPC e EMCAL do ALICE no LHC**. Universidade de São Paulo. São Paulo, p. 244. 2016.

LIMA, C. E. F. **Estudo da Energia transversal eletromagnética em colisões Pb-Pb  $s_{NN}=2,76$  TeV com o experimento ALICE**. Universidade de São Paulo. [S.l.]. 2017.

LORDÊLO, F. S.; PORTO, C. D. M. DIVULGAÇÃO CIENTÍFICA E CULTURA CIENTÍFICA: CONCEITO E APLICABILIDADE. **Revista Ciência em Extensão**, São Paulo, v. 8, p. 18-34, Janeiro 2012. ISSN 1679-4605. Disponível em: <[https://ojs.unesp.br/index.php/revista\\_proex/issue/view/20](https://ojs.unesp.br/index.php/revista_proex/issue/view/20)>. Acesso em: 11 ago. 2018.

LUCKESI. **Avaliação da aprendizagem escolar**. 17. ed. São Paulo: Cortez, 2005. 180 p.

LUCKESI, C. **Avaliação da aprendizagem escolar**. São Paulo: Cortez, 1995. 180 p.

MARTINS, J. B. **A história do átomo de Demócrito aos quarks**. Rio de Janeiro: Ed. Ciência Moderna, 2001. 334 p.

MENEGAT, T. M. C.; WEBER, S. S. F. **O uso de textos de divulgação científica em aulas de física e a avaliação de sua aprendizagem: abordagens inovadoras**. XI Encontro de Pesquisa em Ensino de Física. Curitiba: [s.n.]. 2008. p. 13.

MOREIRA, M. A. Partículas e Interações. **Física na Escola**, São Paulo, p. 10-14, Outubro 2004. ISSN 1983-6430. Disponível em: <<http://www.sbfisica.org.br/fne/Vol5/Num2/v5n1a03.pdf>>. Acesso em: 14 out. 2019.

MOREIRA, M. A. O Modelo Padrão da Física de Partículas. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, Porto Alegre, v. 31, n. 1, 30 Abril 2009.

MOREIRA, M. A. **Teorias de Aprendizagem**. 2<sup>a</sup>. ed. São Paulo: EPU, 2011. 196 p.

NUNES, E. D. R. **Ensino de Conceitos físicos no ensino médio e as contribuições dos objetos de aprendizagem**. Faculdade de Educação, Universidade de São Paulo. São Paulo, p. 300. 2011.

OSTERMANN, F. Um Texto para Professores do Ensino Médio sobre Partículas Elementares. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 4, n. 3, p. 415 - 436, 1998.

OSTERMANN, F.; CAVALCANTI, C. J. D. H. Física moderna e contemporânea no ensino Médio: elaboração de material didático, Em forma de pôster, sobre partículas Elementares e interações fundamentais. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, Florianópolis, v. 16, n. 3, p. 267-286, dez. 1999.

OSTERMANN, F.; CAVALCANTI, C. J. D. H. Um pôster para ensinar Física de Partículas na escola. **Física na Escola**, v. 2, n. 1, p. 13-18, 2001.

OSTERMANN, F.; CAVALCANTI, C. J. D. H. **Teorias de Aprendizagem**. 1ª. ed. Porto Alegre: Evangraf, 2011. 58 p.

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 Catarinense de Física**, Florianópolis, v. 18, n. 2, p. 135-151, 2001.

PATY, M. **A física do século XX**. Tradução de Pablo MARICONDA. São Paulo: Ideias & Letras, 2009. 494 p.

RIBEIRO, R. A.; KAWAMURA, M. R. D. **Divulgação Científica e Ensino de Física: Intenções, Funções e Vertentes**. X Encontro de Pesquisa em Ensino de Física. Londrina: [s.n.]. 2006.

ROCHA, M. B. O potencial didático dos textos de divulgação científica segundo professores de ciências. **Revista Brasileira de Ensino de Ciência e Tecnologia**, Curitiba, v. 5, n. 2, p. 47-68, mai-ago 2012.

SALEM, S. **Estruturas conceituais no ensino de física**. Instituto de Física – Faculdade de Educação, Universidade de São Paulo. São Paulo. 1986.

SALÉM, S.; KAWAMURA, M. R. D. **O texto de divulgação e o texto didático: Conhecimentos diferentes?** V Encontro de Pesquisadores em Ensino de Física. Águas de Lindoia: [s.n.]. Setembro 1996. p. 588-598.

SERWAY, R. A. **Física 4: para cientistas e engenheiros com Física Moderna**. 3ª. ed. Rio de Janeiro: LTC, 1996. 287 p.

SHAW, G.; MARTIN, B. R. **particle physics**. 3<sup>a</sup>. ed. Manchester: Wiley, 2013. 464 p.

SILVA, H. C. D.; ALMEIDA, M. J. P. M. **Uma revisão de trabalhos sobre o funcionamento de textos alternativos ao livro didático no ensino da Física**. II ENCONTRO NACIONAL DE PESQUISA EM EDUCAÇÃO EM CIÊNCIAS. Valinhos: [s.n.]. SET 1999.

SILVEIRA, E. D. Chip das colisões de partículas. **Revista FAPESP**, São Paulo, n. 253, p. 74-75, Março 2017. Disponível em: <<https://revistapesquisa.fapesp.br/2017/03/17/chip-das-colisoes-de-particulas/>>. Acesso em: 23 dez. 2018.

SOLÉ, I. **Estratégias de leitura**. 6<sup>a</sup>. ed. Porto Alegre: Artmed, 2007. 194 p.

TERRAZZAN, E. A.; GABANA, M. Um estudo sobre o uso de atividade didática com texto de divulgação científica em aulas de física. **IV Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências**, Bauru, n. 4, 2003.

TERRAZZAN, E. A.; MENEZES, L. C. D. **Perspectivas para a inserção da física moderna na escola média**. Universidade de São Paulo. São Paulo. 1994.

THOMSON, M. **Modern Particle Physics**. [S.l.]: Cambridge University Press, 2013. 554 p.

TIPLER, P. A.; LLEWELLYN, R. A. **Física Moderna**. 3<sup>a</sup>. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2001. 518 p.

VOGT, C. A espiral da cultura científica. ComCiência: Revista Eletrônica de Jornalismo Científico. **Resista Eletrônica de Jornalismo Científico**, n. 45, Julho 2003. Disponível em: <<http://www.comciencia.br/dossies-1-72/reportagens/cultura/cultura01.shtml>>. Acesso em: 28 ago. 2018.

VOGT, C. De Ciências, divulgação, futebol e bem-estar cultural. In: PORTO, C.; BROTAS, A. M. P.; BORTOLEIRO, S. T. **Diálogos entre ciência e divulgação científica**. Salvador: Edufba, 2011.

WATANABE, G. **Construindo subsídios para a promoção da educação científica em visitas a laboratórios de pesquisa**. Universidade de São Paulo. Instituto de Física – Faculdade de Educação. São Paulo. 2012.

WATANABE, G. **A divulgação científica produzida por cientistas: contribuições para o capital cultural**. Instituto de Física – Instituto de Química – Instituto de Biociências – Faculdade de Educação, Universidade de São Paulo. São Paulo. 2015.

WATANABE, G.; KAWAMURA, M. R. D. A divulgação científica e os físicos de partículas: a construção social de sentidos e objetivos. **Ciência & Educação**, Bauru, v. 23, n. 2, p. 303-320, abr/jun 2017. Disponível em: <<https://doi.org/10.1590/1516-731320170020002>>. Acesso em: 18 jul. 2018.

YOUNG, H. D.; FREEDMAN, R. A. F. **Física IV: ótica e física moderna**. 12<sup>a</sup>. ed. São Paulo: Pearson, 2009. 420 p.

ZIMMERMANN, A. **Production of strange hádrons in charged jets in Pb–Pb collisions measured with ALICE at the LHC**. Ruprecht-Karls-Universität Heidelberg. Bad Kreuznach. 2016.

ZOLNERKEVIC, I. Sopa primordial. **Pesquisa Fapesp**, São Paulo, n. 213, p. 54-57, Novembro 2013. Disponível em: <[https://revistapesquisa.fapesp.br/wp-content/uploads/2013/11/054\\_057\\_Book\\_214.pdf](https://revistapesquisa.fapesp.br/wp-content/uploads/2013/11/054_057_Book_214.pdf)>. Acesso em: 22 dez. 2018.

ZORZETTO, R. Ponto de encontro. **Pesquisa FAPESP**, São Paulo, n. 147, p. 18-27, Maio 2008. Disponível em: <<https://revistapesquisa.fapesp.br/2008/05/01/ponto-de-encontro/>>. Acesso em: 21 dez. 2018.