

Universidade Federal de Pernambuco
Centro Acadêmico do Agreste
Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física

Cristiano Pereira da Silva

FÍSICA DE PARTÍCULAS PARA O ENSINO MÉDIO EM QUADRINHOS

Caruaru
2019

Cristiano Pereira da Silva

FÍSICA DE PARTÍCULAS PARA O ENSINO MÉDIO EM QUADRINHOS

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física da Universidade Federal de Pernambuco, como requisito parcial à obtenção do Título de Mestre em Ensino de Física.

Área de concentração: Ensino de Física

Orientador: Profº. Dr. Ernesto Arcenio Valdés Rodriguez

Caruaru

2019

Catálogo na fonte:
Bibliotecária – Paula Silva - CRB/4 - 1223

S586f Silva, Cristiano Pereira da.
Física de partículas para o ensino médio em quadrinhos. / Cristiano Pereira da Silva.
– 2019.
105 f.; il.: 30 cm.

Orientador: Ernesto Arcenio Valdés Rodríguez.
Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Pernambuco, CAA, Mestrado
Nacional Profissional em Ensino de Física, 2019.
Inclui Referências.

1. Física (Ensino médio). 2. Partículas (Física, química, etc.). 3. Histórias em
quadrinhos na educação – Carpina (PE). 4. Ensino - Meios auxiliares. I. Rodríguez,
Ernesto Arcenio Valdés (Orientador). II. Título

CDD 371.12 (23. ed.)

UFPE (CAA 2019-238)

Cristiano Pereira da Silva

FÍSICA DE PARTÍCULAS PARA O ENSINO MÉDIO EM QUADRINHOS

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física da Universidade Federal de Pernambuco, como requisito parcial à obtenção do Título de Mestre em Ensino de Física.

Aprovada em: 28/05/2019.

BANCA EXAMINADORA

Profº. Dr. Ernesto Arcenio Valdés Rodriguez (Orientador)
Universidade Federal de Pernambuco

Profº. Dr. Augusto César Lima Moreira (Examinador Interno)
Universidade Federal de Pernambuco

Profº. Dr. Sergio de Lemos Campello (Examinador Interno)
Universidade Federal de Pernambuco

Profº. Dr. Antônio Carlos da Silva Miranda (Examinador Externo)
Universidade Federal Rural de Pernambuco

Profª. Drª. Ana Paula Teixeira Bruno Silva (Examinadora Externa)
Universidade Federal Rural de Pernambuco

Dedico este trabalho a Deus, meu pai e meu amigo pelo seu amor incondicional, sua infinita graça e sua presente bondade em minha vida. A minha família e amigos por todo incentivo e compreensão durante toda minha trajetória. Aos meus alunos, no tempo e no espaço, que contribuíram e contribuem para o meu aprimoramento docente.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, pelo seu imenso amor, graça e bondade manifestos na minha vida. Agradeço também pela grande oportunidade que Ele me ofertou em cursar um mestrado tão relevante para a minha profissão, numa renomada instituição pública federal recheada de profissionais cuja competência e dedicação demonstradas superam quaisquer adjetivações.

Particularmente, agradeço aos idealizadores do Mestrado Profissional Nacional em Ensino de Física-MNPEF e aos docentes da Universidade Federal de Pernambuco, Campus Acadêmico do Agreste, por batalharem para a implantação e desenvolvimento deste programa de pós-graduação.

Agradeço ao meu Orientador, Professor Dr. Ernesto Arcenio Valdés Rodriguez, o qual admiro pela simplicidade, sua brilhante competência e paciência, sendo o principal motivador deste trabalho. Sua orientação e prática docente, além de incentivar um protagonismo discente, promove uma enorme sensação de segurança e liberdade de inovação.

Aos meus pais, Severina Josefa da Silva e Severino Paulino Pereira (in memoriam) que apesar de não terem acesso aos estudos na juventude sempre direcionaram os poucos recursos financeiros, dedicação e suor na promoção da educação de seus filhos. Especial atenção dedico a minha mãe que até hoje, tem me incentivado com suas atitudes e orações.

A toda equipe da secretaria de Pós-graduação da Universidade Federal de Pernambuco, Centro Acadêmico do Agreste, que coordena o Curso do Mestrado, por nos dar atenção nas horas devidas.

Aos professores doutores, João Francisco Liberato de Freitas e Augusto César Lima Moreira, Coordenador e Vice Coordenador do Curso de Pós-Graduação em Física da UFPE-CAA os quais contribuíram de forma significativa e profissional para o meu aprendizado.

Ao professor Dr. Paulo Henrique Ribeiro Peixoto pela oportunidade e credibilidade e na pessoa do qual estendo meus agradecimentos aos demais professores.

Agradeço também ao meu professor, hoje amigo e colega de curso e profissão, Gutemberg Antônio Alves, pela parceria e por todo incentivo a mim dedicado nestes anos.

Aos Estudantes de Graduação do Curso de Design da Universidade Federal de Pernambuco, Campus Acadêmico do Agreste, Alex Torres, Cássio Holanda e Mauridenes, pela enorme contribuição no desenvolvimento das ações deste trabalho

Às professoras Priscilla Santos e Elaine Torres, respectivamente, gestora e coordenadora pedagógica da Escola Técnica Estadual Maria Eduarda Ramos de Barros, por todo apoio a mim ofertado ao longo desses anos, em nome das quais estendo o meu agradecimento a toda equipe dos profissionais da educação que trabalham na referida escola.

Ao meu grande amigo e colega do mestrado, José Cícero Dias da Silva por compartilhar conversas e objetivos que jamais esqueerei.

Agradeço também, a todos os companheiros, colegas do mestrado, Marcos Alves, Adriana Santana, Wagner Gomes, Rosangela de Melo, Anita da Conceição, Eduardo Botelho, Rodolfo de Luna, Rubens Antônio e Daeme Telles que com muita perseverança seguem juntos a mim nessa trajetória árdua, cada um em busca do seu objetivo.

Estendo também meus agradecimentos aos meus amigos, Alexsandro Gomes e Pedro Ernesto, e a todos que de alguma forma colaboraram para este trabalho.

Agradeço à CAPES (Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior) pela iniciativa de propiciar a oferta e o desenvolvimento de mestrados profissionais como O MNPEF, que resultam num melhor aprimoramento das habilidades docentes dos profissionais da educação básica.

“A autoridade do educador e as qualificações do professor não são a mesma coisa. Embora certa qualificação seja indispensável para a autoridade, a qualificação, por maior que seja, nunca engendra por si só autoridade. A qualificação do professor consiste em conhecer o mundo e ser capaz de instruir os outros acerca deste, porém sua autoridade se assenta na responsabilidade que ele assume por este mundo. (ARENDT, 1972, p. 239)”.

RESUMO

A influência dos filmes, séries de televisão e desenhos animados, inspirados em histórias em quadrinhos de super-heróis, tem contribuído para a divulgação científica de algumas teorias da física de partículas no público adolescente. A partir deste cenário, este estudo visa propor uma estratégia de ensino sobre esta temática por meio da construção e aplicação de HQs em sala de aula. Esta pesquisa contou com a participação de estudantes consultores e voluntários da escola técnica Maria Eduarda Ramos de Barros, no município de Carpina-PE. Além destes colaboradores já citados, tivemos a indispensável contribuição de três graduandos do curso de Design da Universidade Federal de Pernambuco, Campus Agreste. Para consolidar a proposta citada, foram ofertadas oficinas e reuniões de discussão sobre a produção de narrativa em quadrinhos. Nesse processo, foram construídas várias versões de roteiros para a confecção da HQ, visando ajustes na linguagem e no tamanho do produto. Após passar pelos procedimentos de ilustração e revisão, a história em quadrinhos foi disponibilizada a um grupo de 20 alunos de quatro turmas do 3º ano do ensino médio. Os estudantes participaram também da resolução de três questionários que visavam verificar, a compreensão dos conceitos físicos da história, o tema e arte utilizados, e críticas e sugestões para a melhoria da qualidade da história em quadrinhos. Os resultados obtidos, revelados neste trabalho, foram extremamente positivos. Além de demonstrar um excelente desempenho dos estudantes nas questões básicas da física de partículas elementares, estes resultados também contribuíram para a melhoria do produto educacional, através das colocações subjetivas nos questionários de opinião. Todos estes fatores credenciam o ensino de física de partículas por meio de histórias em quadrinhos como uma alternativa, na busca da promoção e da construção de uma aprendizagem significativa.

Palavras-chave: Ensino médio. Física de partículas. Partículas elementares. Quadrinhos.

ABSTRACT

The influence of movies, television series and cartoons, inspired by superhero comics, has contributed to the scientific dissemination of some theories of particle physics in the adolescent audience. From this scenario, this study aims to propose a teaching strategy on this theme through the construction and application of comic books in the classroom. This research counted on the participation of consultant students and volunteers from Maria Eduarda Ramos de Barros technical school, in the municipality of Carpina-PE. In addition to these collaborators already mentioned, we had the indispensable contribution of three undergraduates of the Design course at the Federal University of Pernambuco, Campus Agreste. To consolidate the proposal, workshops and discussion meetings on comic book narrative production were offered. In this process, several versions of scripts to build the comic were built, aiming at adjustments in language and product size. After going through the illustration and proofreading procedures, the comic was made available to a group of 20 students from four classes in the third year of high school. Students also participated in the resolution of three questionnaires aimed at verifying, understanding the physical concepts of the story, the theme and art used, and criticism and suggestions for improving the quality of the comic. The results, revealed in this work, were extremely positive. In addition to demonstrating excellent student performance on the basic issues of elementary particle physics, these results also contributed to the improvement of the educational product through subjective placement in the opinion questionnaires. All these factors accredit the teaching of particle physics through comics as an alternative in the pursuit of promoting and building meaningful learning.

Keywords: High school. Particle physics. Elementary particles. Comics.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 –	Socialização do termo “ondas quânticas”, realizada pela tira de quadrinhos.....	19
Figura 2 –	Tiras do quadrinho do capitão átomo cuja narrativa aborda a interação nuclear forte.....	20
Figura 3 –	Experiência da dupla fenda de Young.....	32
Figura 4 –	Modelo atômico idealizado por Thomson para o caso de dois elétrons.....	33
Figura 5 –	Esquema ilustrativo do efeito fotoelétrico de Einstein.....	34
Figura 6 –	Esquema ilustrativo da relação entre as energias da equação de Einstein para o efeito fotoelétrico.....	35
Figura 7 –	Modelo atômico de Rutherford.....	36
Figura 8 –	Modelo atômico simplificado de Bohr para o átomo de Hidrogênio.....	37
Figura 9 –	Esquema simplificado dos saltos realizados pelos elétrons entre os níveis de energia de um átomo.....	38
Figura 10 –	Os valores discretos das orbitas eletrônicas e a relação com seus respectivos comprimentos de ondas.....	39
Figura 11 –	Descrição dos números quânticos nos átomos.....	40
Gráfico 1 –	Evolução histórica das partículas elementares do modelo padrão.....	40
Fotografia 1 –	Acelerador de partículas brasileiro inaugurado no final de 2018 em Campinas-SP.....	42
Figura 12 –	Apresentação das três gerações de férmions e das partículas mediadoras.....	43
Figura 13 –	A simetria partículas e antipartículas no modelo padrão.....	44
Figura 14 –	Representação ilustrativa do fenômeno da aniquilação....	44
Figura 15 –	Representação ilustrativa do fenômeno de produção de pares.....	45
Figura 16 –	As interações fundamentais da matéria.....	46

Figura 17 –	Férmions e Bósons do modelo padrão de partículas elementares.....	47
Fotografia 2 –	Realização da oficina sobre produção de storyboard para HQs.....	49
Figura 18 –	Etapas de produção e ajustes da narrativa da história em quadrinhos.....	50
Fotografia 3 –	Aplicação do produto educacional e dos questionários referentes aos pré-teste, pós-teste, e os de pesquisa de opinião.....	51
Gráfico 2 –	Padrão de respostas da questão 01, referente a primeira aplicação do questionário 01.....	53
Gráfico 3 –	Padrão de respostas da questão 01, referente a segunda aplicação do questionário 01.....	53
Gráfico 4 –	Padrão de respostas da questão 02, referente a primeira aplicação do questionário 01.....	54
Gráfico 5 –	Padrão de respostas da questão 02, referentes a segunda aplicação do questionário 01.....	54
Gráfico 6 –	Padrão de respostas da questão 03, referente a primeira aplicação do questionário 01.....	55
Gráfico 7 –	Padrão de respostas da questão 03, referente a segunda aplicação do questionário 01.....	55
Gráfico 8 –	Padrão de respostas da questão 04, referente a primeira aplicação do questionário 01.....	56
Gráfico 9 –	Padrão de respostas da questão 04, referente a segunda aplicação do questionário 01.....	56
Gráfico 10 –	Padrão de resposta da questão 05, referente a primeira aplicação do questionário 01.....	57
Gráfico 11 –	Padrão de respostas da questão 5, referente a segunda aplicação do questionário 01.....	57
Gráfico 12 –	Padrão de respostas da questão 6, referente a primeira aplicação do questionário 01.....	58
Gráfico 13 –	Padrão de resposta da questão 6, referente a segunda aplicação do questionário 01.....	58

Gráfico 14 –	Padrão de resposta da questão 7, referente a primeira aplicação do questionário 01.....	59
Gráfico 15 –	Padrão de resposta da questão 7, referente a segunda aplicação do questionário 01.....	59
Gráfico 16 –	Padrão de respostas da questão 8, referente a primeira aplicação do questionário 01.....	60
Gráfico 17 –	Padrão de respostas da questão 8, referente a segunda aplicação do questionário 01.....	60
Gráfico 18 –	Padrão de respostas da questão 09, referente a primeira aplicação do questionário 01.....	61
Gráfico 19 –	Padrão de respostas da questão 09, referente a segunda aplicação do questionário 01.....	61
Gráfico 20 –	Padrão de respostas da questão 10, referente a primeira aplicação do questionário 01.....	62
Gráfico 21 –	Padrão de respostas da questão 10, referente a segunda aplicação do questionário 01.....	62
Gráfico 22 –	Padrão de respostas da questão 01, referente do questionário 02.....	63
Gráfico 23 –	Padrão de respostas da questão 02, referente a aplicação do questionário 02.....	64
Gráfico 24 –	Padrão de respostas da questão 03, referente a aplicação do questionário 02.....	65
Gráfico 25 –	Padrão de respostas da questão 04, referente a aplicação do questionário 02.....	65
Gráfico 26 –	Padrão de respostas da questão 05, referente a aplicação do questionário 02.....	66
Gráfico 27 –	Padrão de respostas da questão 01, referente ao questionário 03.....	70

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 –	Contribuições individuais referentes a questão 06 do questionário 02.	67
Tabela 2 –	Contribuições individuais referentes a questão 07 do questionário 02.....	68
Tabela 3 –	Padrão de respostas da questão 01, referente ao questionário 03.	71

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	15
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	17
2.1	O ensino de física de partículas através de HQs.....	17
2.2	A construção do conhecimento científico no processo de aprendizagem.....	23
2.2.1	<i>As teorias da aprendizagem na busca pela compreensão da construção do conhecimento.....</i>	24
2.2.1.1	A epistemologia genética de Piaget.....	24
2.2.1.2	A teoria sociocultural de Vygotsky.....	26
2.2.1.3	A aprendizagem significativa de David Ausubel.....	28
2.3	Tópicos da história da estrutura da matéria.....	29
3	METODOLOGIA	48
4	ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS DADOS	52
4.1	Análise dos padrões das respostas do questionário 01 referentes a primeira e segunda aplicações.....	52
4.2	Análise dos padrões das respostas do questionário 02.....	63
4.3	Análise dos padrões das respostas do questionário 03.....	70
4.4	Discussão geral dos resultados.....	72
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS	75
	REFERÊNCIAS	76
	APÊNDICE A – PRODUTO EDUCACIONAL.....	80
	APÊNDICE B – QUESTIONÁRIO.....	101
	APÊNDICE C –TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO.....	104

1 INTRODUÇÃO

As transformações tecnológicas que moldaram o mundo contemporâneo no último século, estão estritamente correlacionadas, em grande parte, às mudanças ocorridas nos campos teórico e experimental da física. A compreensão e a interpretação dos fenômenos físicos evoluíram muito neste período graças ao surgimento e desenvolvimento da física de partículas. Investigar, analisar e reproduzir as interações fundamentais da natureza e suas relações com a estrutura da matéria e a composição do universo é um constante desafio para a humanidade.

Zanetic (2005) entende que o ensino de física, de modo geral, se limita a aplicação de fórmulas, previamente memorizadas, na solução de exercícios típicos de exames vestibulares. Acrescenta ainda que para a modificação deste cenário é indispensável um número mínimo de aulas que abordem a conceituação teórica, a experimentação, a história da física, a filosofia da ciência e sua conexão à sociedade e outros saberes culturais. Concordando com o autor, propomos neste trabalho, uma abordagem diferente dos conceitos de física de partículas através da leitura de história em quadrinhos.

Na visão de Rama et al (2016), as histórias em quadrinhos propiciam o aumento da motivação dos discentes para as temáticas abordadas em aulas, instigando a curiosidade e promovendo o senso crítico. Ainda acerca deste tema, ressalta a vinculação dos estudantes com os personagens e heróis de história em quadrinhos, como justificativa para a utilização deste recurso didático no processo de aprendizagem.

Nesta pesquisa propomos como objetivo geral verificar o potencial pedagógico das histórias em quadrinhos, na forma de produto educacional, quanto ao aprendizado de conceitos científicos de física de partículas no ensino médio sobre a perspectiva da aprendizagem significativa.

A partir desta proposta, temos como objetivos específicos: elaborar um produto educacional em história em quadrinhos para a introdução de conceitos de física de partículas; aplicar o produto educacional em uma escola pública estadual na cidade

de Carpina-PE, analisar os possíveis obstáculos e as dificuldades encontradas pelos estudantes após a leitura do produto educacional; demonstrar como os elementos dos quadrinhos podem auxiliar em uma abordagem didática crítica.

Para atingir os objetivos propostos nesta pesquisa organizamos o texto de forma que no capítulo 2 tratamos sobre tópicos da história dos conceitos de estrutura da matéria. Neste capítulo analisamos também a relação entre as teorias da aprendizagem de Piaget, Vygotsky e Ausubell e as referências teóricas que abordam os efeitos positivos da utilização de história em quadrinhos na educação. Ressaltando, ainda nesta seção, a importância da conexão entre as temáticas com personagens de ficção científica, presentes em algumas histórias em quadrinhos, e o ensino de física de partículas no ensino médio.

No capítulo 3, apresentamos a metodologia adotada durante a pesquisa. Durante o capítulo 4, expomos a análise e as discussões dos resultados a partir da leitura do produto educacional e da avaliação proposta. O último capítulo versa sobre as considerações finais e as novas perspectivas do ensino de física de partículas como resultado do recurso artístico utilizado neste trabalho.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1. O ensino de física de partículas através de HQs.

A nova Base Nacional Comum Curricular (BNCC) para educação básica, homologada e publicada em 19 de dezembro de 2018 pelo Ministério da Educação, traz algumas competências específicas para a área de ciências da natureza e suas tecnologias no ensino médio. A primeira competência específica, trata entre outros temas da “análise dos fenômenos naturais com base nas interações e relações entre matéria e energia...”. Enquanto a segunda competência remete ao uso de análise e interpretações “...para elaborar argumentos, realizar previsões sobre o funcionamento e a evolução dos seres vivos e do universo”.

Em relação ao ensino de física, tanto a primeira competência, quanto a segunda competência da BNCC citada acima, abordam, mesmo que tangencialmente, a temática relativa à física de partículas. Para compreender, tanto a origem e a evolução do universo quanto as relações entre matéria e energia e suas aplicações contemporâneas, o estudante necessita de conhecimentos básicos sobre o modelo padrão das partículas elementares e das forças fundamentais da natureza.

O desafio para o ensino de física de partículas no ensino médio é encontrar o recurso, as estratégias, e a linguagem didáticas adequadas que dialoguem com as teorias da aprendizagem referentes a construção cognitiva e aos aspectos socioemocionais dos adolescentes, que geralmente são o público alvo deste nível de ensino. Interligar as facetas da metacognição Piagetiana característica desta faixa etária, as análises das construções socioculturais de Vygotsky percebidas nos estudantes e as concepções prévias dos discentes, na perspectiva da aprendizagem significativa de Ausubell, são propostas interessantes para esta temática.

Considerando e relacionando as contribuições destes teóricos da aprendizagem com o ensino de física através de histórias em quadrinhos (HQ), Testoni e Abib (2003) nos ensinam que:

Do ponto de vista do leitor/estudante, a leitura de uma HQ torna-se uma atividade muitas vezes relaxante, comportamento explicado pelo mecanismo psicológico da catarse, ou seja, o despojamento das tensões cotidianas em virtude da realização de uma atividade lúdica. Assim, a História em Quadrinho pode ser vista como uma fonte acessível, um instrumento que faz parte do cotidiano do discente, o que, em uma primeira fase, causaria um contato mais direto entre o aluno e o material utilizado. Salienta-se também que a linguagem e formatação proposta pelas HQ são colocadas da forma mais acessível possível, criando uma narrativa dinâmica, com proposição de desafios e atividades cognitivas ao leitor. (TESTONI; ABIB,2003, p.02)

Neste sentido, os discentes, permeados pelo acesso cada vez mais facilitado à internet, jogos eletrônicos, filmes, e outras plataformas de entretenimento, socialização e aprendizagem, trocam informações, questionam ou defendem teorias diversas sobre os personagens da ficção. Como por exemplo, a origem, dos poderes ou habilidades destes e suas implicações no mundo real. Algumas dessas teorias, como as referentes às habilidades das joias do infinito do universo da Marvel Comics, tem origem em teorias científicas contemporâneas, como modelo padrão de partículas elementares .E a aprendizagem espontânea se dá pela investigação e comparação feita pelo estudante, das concepções científicas e artísticas, presentes nestas obras e produtos da ficção

Desde as sociedades primitivas, a humanidade desenvolveu a necessidade de comunicação através de símbolos imagéticos, que se constituiu em uma poderosa ferramenta para transmitir ideias, apresentar narrativas e preservar heranças culturais. As gravuras paleolíticas em rochas, mais conhecidas como pinturas rupestres, são um exemplo da utilização da semiótica como estratégia de linguagem para a expressão e compreensão do pensamento. Estas produções artísticas de linguagem representam, portanto, um marco na relação entre o signo e seu significado nas interlocuções.

Após a criação da escrita e dos avanços das várias formas de comunicação, que surgiram no decorrer das eras da história humana oficial, ainda persiste depois da pós-modernidade o uso de símbolos mais complexos e imagens como instrumentos linguísticos. O uso de histórias em quadrinhos, desenhos animados, novelas, séries e filmes de modo geral, ganharam protagonismo não só na indústria do entretenimento, como na propagação de ideologias socioculturais e de informações de cunho educativo. Neste aspecto, Rama *et al* (2016) escreve que:

Palavras e imagens, juntos, ensinam de forma mais eficiente – a interligação do texto com a imagem, existente nas histórias em quadrinhos, amplia a compreensão de conceitos de uma forma que qualquer um dos códigos, isoladamente, teria dificuldades para atingir. Na medida em que essa interligação texto/imagem ocorre nos quadrinhos com uma dinâmica própria e complementar, representa muito mais do que o simples acréscimo de uma linguagem a outra - como acontece, por exemplo, nos livros ilustrados - ,mas a criação de um novo nível de comunicação, que amplia a possibilidade de compreensão do conteúdo programático por parte dos alunos. (RAMA *et al* ,2016, p.22).

A inserção destas construções semióticas no ensino de física de partículas representa, portanto, uma oportunidade de interação e divulgação dos saberes, das pesquisas científicas e das contribuições que esta área do conhecimento traz para o desenvolvimento tecnológico da sociedade global atual.

Figura 1: Socialização do termo “ondas quânticas”, realizada pela tira de quadrinhos.



Fonte: Krul (2011).

Neste cenário, entre os recursos gráficos e visuais presentes na atualidade, merece destaque a história em quadrinhos, também conhecidas pela sigla HQs. A justificativa para a relevância das HQs no ensino de física, se dá pela divulgação e aplicação de muitas teorias científicas nas narrativas de ficção com super-heróis, por companhias mundialmente renomadas como as americanas *MARVEL COMICS* e *DC COMICS*. Os personagens criados por estas companhias como Homem de Ferro, Super-Homem, Flash, Capitão Átomo, Thor, e Homem Formiga são, entre tantos

outros, exemplos de inserções de conceitos de física de partículas e outras áreas da Física na caracterização e manifestação de suas habilidades

Figura 2: Tiras do quadrinho do capitão átomo cuja narrativa aborda a interação nuclear forte



Fonte :Panini (2015).

Alguns estudantes, internalizam os conceitos científicos disseminados por estas produções artísticas e começam a construir e compartilhar novas teorias para as narrativas oficiais. As discussões ocorrem tanto presencialmente como através de plataformas e redes sociais. Muitos chegam a reconstruir as histórias se aprofundando em alguns temas das teorias científicas atuais. Os adeptos desta prática são chamados de fanzine, termo que teve origem na aglutinação das palavras fã e magazine. De acordo com Magalhães (2016):

Os fanzines – publicações amadoras editadas por fãs de uma determinada arte ou hobby – representam, para os quadrinhos brasileiros o espaço da reflexão, da crítica e da experimentação[...]. A importância dos fanzines se configura ainda pela difusão, renovação, formação do público e criação de um espaço essencial de discussão sobre os quadrinhos como expressão artística. (MAGALHÃES, 2016, p.08).

O uso de quadrinhos na educação básica ganhou mais incentivos com a promulgação da Lei de diretrizes e bases da educação de 20 de dezembro de 1996.

Este documento normativo orienta, no parágrafo primeiro de seu artigo 36, a contemplação, nas diretrizes curriculares, de formas contemporâneas de linguagens. Contudo, a utilização de HQs na educação não se restringe apenas às aulas de códigos e linguagens ou de humanas. Há um potencial enorme de exploração nas histórias em quadrinhos de super-herói que tratam de temas ligados às ciências exatas e da natureza. Corroborando com esse entendimento, Vergueiro et al (2015) leciona que:

O uso dos quadrinhos de super-heróis não deve ser exclusivo das aulas de língua portuguesa e Humanidades (História, Filosofia, Sociologia)...Por fim, mas não menos importante, os quadrinhos de super-heróis podem ser utilizados também em aulas de exatas, especialmente, no caso do ensino fundamental, de ciências, e, no caso do ensino médio, de Física, Química e Biologia. Embora as histórias de super-heróis sejam, em sua esmagadora maioria, totalmente inverossímeis, elas ajudaram a popularizar termos de jargões científicos tais como “radioatividade”, “raios gama” e “antimatéria” entre outros. (VERGUEIRO et al ,2015, p.92).

A utilização de quadrinhos nas salas de aulas da educação básica pode ser guiada por diversos caminhos. Mas independente do caminho proposto, é necessário o olhar sobre a inter, a trans e a multidisciplinaridade. As temáticas a serem trabalhadas não podem ser dissociadas das suas aplicações e interações com outros ramos da mesma área do conhecimento ou entre áreas diversas. A estratégia a ser adotada, portanto, depende da reflexão e do planejamento do professor sobre as expectativas de aprendizagens a serem alcançadas. Aliado a isso, está a percepção das individualidades e habilidades características do público alvo. Sobre esta perspectiva, Rama et al (2016) nos apresenta as seguintes lições:

Não existem regras. No caso dos quadrinhos, pode-se dizer que o único limite para seu bom aproveitamento em qualquer sala de aula é a criatividade do professor e sua capacidade de bem utilizá-los para atingir seus objetivos de ensino. Eles tanto podem ser utilizados para introduzir um tema que será depois desenvolvido por outros meios, para aprofundar um conceito já apresentado, para gerar uma discussão a respeito de um assunto, para ilustrar uma ideia, como uma forma lúdica para tratamento de um tema árido ou como contraposição ao enfoque dado por outro meio de comunicação. Em cada um desses casos, caberá ao professor, quando do planejamento e desenvolvimento de atividades na escola, em qualquer disciplina, estabelecer a estratégia mais adequada às suas necessidades e às características de faixa etária, nível de conhecimento e capacidade de compreensão de seus alunos. (op cit, p.26).

Entre as várias formas de introduzir os quadrinhos em sala de aula, e em especial para as abordagens acerca da física de partículas, destacamos aqui três estratégias interessantes. A utilização de qualquer uma delas depende da análise do professor sobre a conveniência diante dos recursos didáticos disponíveis, e da previsibilidade de uma boa recepção pelos estudantes.

A primeira estratégia é a mais tradicional, consiste na seleção a ser operada pelo professor, entre as diversas HQs prontas e disponíveis em livrarias, sebos, bancas de revistas e plataformas virtuais. A partir daí o docente pode escolher trabalhar toda a obra selecionada ou apenas pequenos trechos. Na sequência, define a tarefa a ser realizada pelos estudantes, seja a interpretação do texto pura e simples ou aliando a esta a tarefa de reescrever a história utilizando uma maior veracidade científica.

A segunda estratégia é construir as próprias histórias em quadrinhos à mão livre, utilizando papel lápis e canetas especializadas. Para esta estratégia o docente, se não tiver habilidade para desenhar ou se preferir não ser o designer das ilustrações, pode construir um roteiro junto com seus alunos e oportunizar a eles a tarefa de montar a história com ilustrações. O professor pode ainda produzir o roteiro individualmente ou com um grupo de discentes e com o auxílio de um cartunista ou ilustrador finalizar a obra.

A terceira estratégia é utilizar sites especializados ou aplicativos para tablets e celulares sobre geradores de histórias em quadrinhos. Muitos deles são disponibilizados gratuitamente através de cadastro. Nestes espaços é possível escolher personagens, cenários etc., adequar o roteiro em espaços de falas, pensamentos e onomatopeias. Também é possível utilizar e enviar esquemas, equações e imagens que serão inseridos na construção da narrativa. Ainda sobre este caminho, o professor pode empregá-lo para que todos os estudantes, independentemente de ter ou não habilidade de desenhar no estilo de HQs tradicionais, construam seus próprios roteiros e produzam seus próprios quadrinhos.

Em qualquer uma das estratégias escolhidas, é fundamental que elas ocorram dentro de um plano de aula previamente estruturado, com objetivos e mecanismos de avaliação definidos. Essa ação é importante para não adotar uma metodologia ineficiente que privilegie simplesmente o maior lapso temporal possível em sala, de modo a perseguir apenas o lúdico pelo lúdico.

Outro aspecto imprescindível a ser observado na execução destas estratégias, está relacionado às teorias da aprendizagem abordadas neste estudo. Conectar a ação adotada com a faixa etária, o desenvolvimento cognitivo e as interações sociais e culturais dos discentes é requisito essencial para uma metodologia eficiente. A metacognição apresentada pelo adolescente, segundo a perspectiva Piagetiana, e a superação dos limites da zona de desenvolvimento proximal, da teoria Vygotskyana, pelos processos de socialização inerentes aos púberes, são fatores que devem direcionar a prática pedagógica na confecção de produtos educacionais que favoreçam os processos formativos de uma aprendizagem significativa.

2.2. A construção do conhecimento científico no processo de aprendizagem

A necessidade de analisar e compreender o mundo a sua volta sempre esteve presente na história do homem. Através de concepções animistas, míticas, religiosas ou por intermédio do método científico, a humanidade tem interpretado os fenômenos físicos ao seu redor. Enquanto as outras cosmovisões são incorporadas e transmitidas a partir da crença nas tradições culturais e nas experiências sensoriais, os conhecimentos filosóficos e científicos se baseiam na lógica racional e na experimentação dialógica.

Não se pode mensurar ou valorar os tipos de conhecimentos obtidos a partir destas diferentes vertentes ideológicas, o que se pode estabelecer é um diagnóstico de como tal componente cognitivo é construído, e de que maneira este dialoga com outras fontes de produção de saberes, sejam eles científicos ou não.

O Conhecimento humano tem origem na atividade empírica em todas as fases de seu desenvolvimento, no entanto, a maneira como processa e interpreta estas experiências obedece a uma construção racional baseada em valores e ideias pré-concebidas de caráter abstrato e especulativo. Um dos principais expoentes fundadores da filosofia do conhecimento, Kant (2007) diagnóstica que:

Podemos afirmar que todos os nossos conhecimentos têm origem em nossa experiência. Se fosse ao contrário por meio do que a faculdade de conhecimento deveria ser exercida senão por objetos que tocam nossos

sentidos e em parte produzem por si mesmos representações, em parte colocam em movimento a atividade do nosso entendimento para compará-las, reuni-las ou separá-las e, dessa maneira, proceder à elaboração da matéria informe das impressões sensíveis até um conhecimento das coisas, o que se denomina experiência? Portanto, no tempo nenhum conhecimento antecede a experiência; todos começam por ela. (KANT, 2007, p.05).

Nesta perspectiva, compreender os mecanismos, as etapas e as interações no processo de construção do conhecimento, é o primeiro passo para a promoção de uma estratégia pedagógica que resulte numa maior autonomia discente.

2.2.1 As teorias da aprendizagem e a busca pela compreensão da construção do conhecimento.

Influenciados fortemente pela filosofia do conhecimento, e pelo desenvolvimento e autonomia da psicologia da aprendizagem, muitos estudiosos se debruçaram em investigar e estabelecer os fundamentos da construção cognitiva. Esta diagnose pode ser composta a partir da análise de três aspectos complementares. O primeiro tem como escopo, em uma visão biológica e psicológica, o estudo das fases do desenvolvimento humano e as habilidades relativas à cognição apresentadas em cada uma delas. O segundo toma por base as interações sociais e as percepções subjetivas da realidade na formação do conhecimento. O terceiro investiga como se desenvolve o processo de formação de uma aprendizagem realmente significativa.

2.2.1.1. A epistemologia genética de Piaget

A teoria cognitivista de Piaget, entre outras contribuições, permite a reflexão de como o conhecimento do sujeito, sozinho ou em conjunto, é construído, e quais etapas e processos estão envolvidos nesta tarefa. Compreender as relações entre o desenvolvimento biológico e cognitivo humano, é o principal foco e contribuição das obras Piagetianas para os estudos sobre a aprendizagem. De acordo com este teórico

cognitivista, a aprendizagem é um atributo inato e que se desenvolve por estágios evolutivos, obedecendo a intervalos etáticos. Tal concepção afirma que a formação e o aperfeiçoamento da gnose humana se dão por meio de estruturas mentais, que se ajustam através de mecanismos de assimilação e acomodação. Corrêa (2017) nos lembra que:

Aqui, cabe introduzir as noções de Esquema, Assimilação e Acomodação. Os Esquemas são estruturas mentais referentes a um todo organizado, estando relacionados com uma estrutura cognitiva específica. A Assimilação concerne à capacidade de o sujeito incorporar objetos da cognição à sua estrutura cognitiva. A Acomodação concerne ao reajustamento ocorrido na estrutura de modo a poder incorporar o novo objeto. equilíbrio entre a assimilação e a acomodação recebe o nome de equilíbrio. Em todo processo de interação do sujeito com o objeto, os processos de Assimilação e Acomodação se encontram presentes, ora com a predominância de um, ora com a predominância de outro. Os esquemas possuem uma plasticidade dinâmica, adaptando-se à realidade de maneira a poder assimilá-la. (CORRÊA, 2017, p.380).

Neste cenário, os eventos externos são internalizados e agrupados através de esquemas e assim, diante de novos objetos, de novas informações, os processos de assimilação e acomodação atuam e interagem com estes. Quando há um desequilíbrio, o aprendente busca conscientemente reajustar os processos anteriores através da regulação automática ou ativa. Os eventos externos citados acima são originados pela experiência, que pode ser de natureza física ou lógico-matemática. Corrêa (2017) comenta que:

Dito isso, propomos, para anuanciar ainda mais o conceito de ação que fundamenta o desenvolvimento da criança e do adolescente na perspectiva piagetiana, falar de experiência. Existem dois tipos de experiência: a física e a lógico-matemática. A experiência física consiste na ação sobre os objetos, retirando deles qualidades que são intrínsecas a eles ou ainda que existem neles antes da ação do sujeito sobre eles. Já a experiência lógico-matemática consiste na ação sobre os objetos, retirando não deles, mas da ação e das coordenações do sujeito, características que são próprias dessas coordenações. (op cit, p.380).

A conclusão trazida por Piaget é que a aprendizagem é um fenômeno baseado na ação do sujeito que aprende. Analogamente, este pensamento revela uma autonomia do estudante na consolidação do conhecimento científico. Enfatizando aqui a faixa etária atual e tradicional pertinente ao ensino médio, é muito importante a contribuição Piagetiana acerca do comportamento e dos processos cognitivos.

Há na adolescência, portanto, e sob este olhar, o surgimento da lógica abstrata, a abertura para novos saberes, discussões, metacognição, autorreflexão e autocorreção. A estas características e habilidades também se acrescentam a abertura de novos conceitos à nível filosófico e científico, as alterações à nível de linguagem, a capacidade de projeção temporal de projetos e ideias, seleção de opções e tomadas de decisão e o desenvolvimento de princípios morais autônomos.

Desse modo, as estratégias didáticas que visem proporcionar a construção de um conhecimento científico sólido nos discentes, passa, necessariamente, por compreender as transformações ocorridas neste estágio do desenvolvimento humano. Como implicações educativas, a teoria Piagetiana também salienta a observação das diferenças individuais do desenvolvimento cognitivo. O ritmo do processo de mudança da aquisição de várias novas estruturas e habilidades variam com os indivíduos, sendo isso percebido nas diferenças refletidas da capacidade de aprendizagem diante de uma tarefa comum.

Estas concepções trazem um impacto positivo nas ações docentes, tendo em vista a considerar o período de transição entre a inteligência operatória concreta e a inteligência operatória formal abstrata. Assim, direcionar o planejamento pedagógico para estimular a capacidade de representação e inteligência da função semiótica da linguagem, estimulando o conflito cognitivo e sua equilibrção através da percepção dos erros no exercício da metacognição, é uma atitude coerente do professor diante das ideias da epistemologia genética.

2.2.1.2. A teoria sociocultural de Vygotsky

Fortemente influenciado pela filosofia de Hegel, das ideias de Karl Max e das concepções Darwinianas, Vygotsky busca compreender o desenvolvimento cognitivo humano a partir de uma visão mais plural, para além dos aspectos biológicos e psicológicos. A partir destes arcabouços teóricos, as ideias de Vygotsky levam em consideração a racionalidade dialética, a organização e as relações dos indivíduos numa sociedade, e as noções sobre transmutação de espécies, seleção natural e evolução. Neste contexto, a visão Vygotskyana defende que as estruturas das funções psicológicas superiores se estabelecem e se desenvolvem a partir de interações socioculturais. Lucci (2006) considera que:

Nesse sentido, é lícito dizer que as funções psicológicas elementares são de origem biológica; estão presentes nas crianças e nos animais; caracterizam-se pelas ações involuntárias (ou reflexas); pelas reações imediatas (ou automáticas) e sofrem controle do ambiente externo. Em contrapartida, as funções psicológicas superiores são de origem social; estão presentes somente no homem; caracterizam-se pela intencionalidade das ações, que são mediadas. Elas resultam da interação entre os fatores biológicos (funções psicológicas elementares) e os culturais, que evoluíram no decorrer da história humana. Dessa forma, Vygotsky considera que as funções psíquicas são de origem sociocultural, pois resultaram da interação do indivíduo com seu contexto cultural e social. (LUCCI,2006, p.07).

Para elucidar melhor sua teoria, Vygotsky utiliza o conceito de Zona de Desenvolvimento Proximal (ZDP). Em outras palavras, a ZDP pode ser compreendida como o limite entre o que o indivíduo consegue aprender sozinho e a necessária participação sociocultural pela interação com outros sujeitos. De acordo com essa percepção, as estratégias pedagógicas serão efetivas na medida em que contemplarem a subjetividade, a mudança cognitiva apoiada no contexto social, e a interdisciplinaridade como ligação e valorização dos diversos tipos de conhecimentos científicos e culturais.

Sob esta ótica, o papel do educador e da linguagem adotada são essenciais para auxiliar na transmissão de pensamentos e ideias que resultem na maturação das funções psicológicas superiores. E sobre este tópico, Lucci (2006) afirma que:

Nesse sentido, a linguagem é o principal mediador na formação e no desenvolvimento das funções psicológicas superiores. Ela constitui um sistema simbólico, elaborado no curso da história social do homem, que organiza os signos em estruturas complexas permitindo, por exemplo, nomear objetos, destacar suas qualidades e estabelecer relações entre os próprios objetos. O surgimento da linguagem, como já foi dito anteriormente, representa um salto qualitativo no psiquismo, originando três grandes mudanças. A primeira está relacionada ao fato de que ela permite lidar com objetos externos não presentes. A segunda permite abstrair, analisar e generalizar características dos objetos, situações e eventos. Já a terceira se refere a sua função comunicativa... (op cit, p.07-08).

Compreender as construções e as relações socioculturais dos estudantes do ensino médio, de uma determinada instituição de ensino, é condição primária para a elaboração de uma linguagem pedagógica pertinente e efetiva na produção e intelecção de saberes científicos atuais e futuros.

2.2.1.3. A aprendizagem significativa de David Ausubel

Despertar o interesse dos discentes e verificar se estes estão em fase de construção de um conhecimento científico sólido sobre determinadas temáticas propostas, é o desafio de todo professor na atualidade. É a partir deste prisma que se propagam as ideias de Ausubel. A aprendizagem significativa na perspectiva Ausubeliana é aquela que leva em consideração as concepções prévias e sua interação com novos saberes, de modo a proporcionar uma, compreensão significativa para o sujeito. De acordo com Moreira (2011):

Aprendizagem significativa é aquela em que ideias expressas simbolicamente interagem de maneira substantiva e não-arbitrária com aquilo que o aprendiz já sabe. Substantiva quer dizer não-literal, não ao pé da letra, e não-arbitrária significa que a interação não é com qualquer ideia prévia, mas sim com algum conhecimento especificamente relevante já existente na estrutura cognitiva do sujeito que aprende. (MOREIRA,2011, p.08).

Verificar e considerar os conhecimentos prévios e como estes se relacionam na estrutura cognitiva do estudante, constitui, o primeiro passo para a promoção da construção de uma aprendizagem significativa. Outro termo utilizado para designar estas concepções iniciais dos estudantes é o vocábulo subsunçor, que nas palavras de Moreira (2011):

Em termos simples, subsunçor é o nome que se dá a um conhecimento específico, existente na estrutura de conhecimentos do indivíduo, que permite dar significado a um novo conhecimento que lhe é apresentado ou por ele descoberto. Tanto por recepção como por descobrimento, a atribuição de significados a novos conhecimentos depende da existência de conhecimentos prévios especificamente relevantes e da interação com eles. O subsunçor pode ter maior ou menor estabilidade cognitiva, pode estar mais ou menos diferenciado, ou seja, mais ou menos elaborado em termos de significados. Contudo, como o processo é interativo, quando serve de ideia-âncora para um novo conhecimento, ele próprio se modifica adquirindo novos significados, corroborando significados já existentes. (op cit, p.14).

A aprendizagem significativa com construída, conforme preceitua Ausubel, quando um novo conceito adquire significado para o aprendente, através de uma espécie de amarração em aspectos relevantes da estrutura cognitiva preexistente do indivíduo, de maneira clara e objetiva.

As análises sobre os processos de formação do conhecimento não podem, portanto, passar despercebidos no momento do planejamento de atividades no Ensino

de Física. Refletir sobre e selecionar a mais eficiente estratégia didática a ser adotada, a partir desta contribuição teórica, passa pelo cumprimento de algumas etapas.

O primeiro passo consiste em verificar na estrutura conceitual da temática a ser abordada, quais os subsunçores necessários para a sua compreensão, selecionando e relacionando-os aos conceitos e princípios teóricos do conteúdo proposto. O segundo passo é identificar se estes subsunçores estão presentes na estrutura cognitiva do discente. E, entre outras ações, construir, testar e utilizar recursos pedagógicos que auxiliem e promovam a assimilação dos conhecimentos científicos por parte do estudante, através da organização da sua estrutura cognitiva interna, resultando numa exteriorização e argumentação coerente e consolidada pelo uso da linguagem e aplicações destes saberes.

2.3. Tópicos da história da estrutura da matéria

Durante toda a história da filosofia, houve uma inquietação latente sobre a origem e como são formadas todas as coisas. As várias respostas dadas a esta indagação possuem fundamentos diversos, que por sua vez, denotam construções de cosmovisões diferentes para explicar um mesmo conjunto de fenômenos. Essas diferentes cosmovisões sobre a origem do universo coexistem no mundo hodierno. As perspectivas mitológicas, religiosas, filosóficas e científicas sobre um dado fenômeno, oferecem, quando analisadas dialogicamente, uma percepção mais plural da realidade, que pode enriquecer estudos referentes a quaisquer temáticas.

Sob a ótica da mitologia grega, temos a representação da criação do cosmo conhecido, a partir da união Gália e Urano. Como resultado desse enlace surgiram os titãs e a partir de então surgem os deuses. Cada deus teria domínio sobre um atributo da natureza ou de um sentimento ou emoção humana.

Mergulhados na religião órfica, contemporânea à mitologia grega, os primeiros filósofos começaram a utilizar o padrão racional para entender a formação e a constituição do universo. A religião órfica, como o próprio termo aponta, partia de uma visão de espiritualidade disseminada por Orfeu. Este visualizava a relação com o divino a partir da análise racional dos fenômenos naturais e sociais. Sobre a importância do orfismo no desenvolvimento da filosofia grega, Reale e Antiseri (2003) ressalta que:

Uma coisa deve-se ter presente: sem o Orfismo não se explicaria Pitágoras, nem Heráclito, nem Empédocles e, sobretudo, não se explicaria uma parte essencial do pensamento de Platão e, depois, de toda a tradição que deriva de Platão; ou seja, não se explicaria grande parte da filosofia antiga, como veremos melhor mais adiante. (REALE; ANTISERI, 2003, p.09)

Nesta nova forma de enxergar a realidade, a relação entre a natureza e o divino é tão profunda que não seria possível estabelecer uma separação entre eles. E como igualmente participante da natureza e da divindade, o homem, através do exercício da meditação e da reflexão racional, poderia compreender os fenômenos da natureza e com isso compreender e contemplar o divino. É neste cenário que surgem os universalistas, que, diferentemente dos pluralistas, acreditavam que o universo conhecido era formado por um único elemento e pelas transformações deste, todas as substâncias encontradas na natureza eram criadas.

Na continuidade das lições de Reale e Antiseri (2003), um dos primeiros filósofos pré-socráticos que se tem notícia, Tales de Mileto, se empenhou em descobrir e defender o elemento primordial. Para ele, o princípio de todas as coisas é a água. Tudo têm origem na água. A água líquida que bebemos seria apenas uma das muitas manifestações do elemento físico primordial água, do qual derivam todas as outras coisas. O próximo representante da escola de Mileto da qual Tales era fundador, Anaximandro, acreditava que a origem de todas as coisas não pode ser representada por nenhum dos elementos naturais. Esse princípio de tudo é o apeíron, o indefinido. Ele é eterno, indestrutível e infinito. O movimento eterno do apeíron é o que gera todas as coisas.

Seguindo o pensamento dos universalistas temos, como elemento primeiro, o ar de Anaxímenes. Para este, haveria realmente um movimento perpétuo da substância primeira. Este movimento a transformaria em outras. Esta substância só poderia ser o ar, pois pela mudança de sua rarefação e densidade tem-se a formação das demais. Heráclito e Xenófanés, com argumentos análogos aos demais, sustentavam ser a substância primeira, respectivamente, o fogo e a terra.

Finalizando a tese universalista temos, os filósofos gregos Demócrito e Leucipo fundadores do atomismo. Na visão originária desses atomistas, se uma determinada substância fosse dividida sucessivamente chegaria um momento em que não seria possível fragmentá-la, encontrando assim o indivisível, o átomo grego. No entanto,

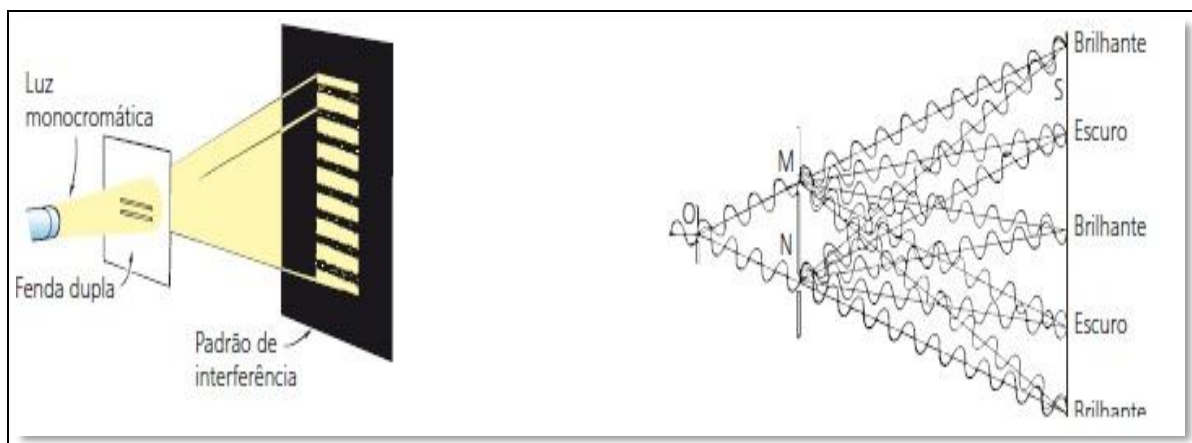
esta última ideia foi refutada por Empédocles e subjugada por Aristóteles. Ainda como leciona Reali Antiseri (2003), para Empédocles:

Ha, portanto, quatro elementos que, unindo-se, dão origem à geração das coisas e, separando-se, dão origem a sua corrupção. Mas quais são as forças e os unem e separam? Empédocles introduziu as forças cósmicas do Amor ou da Amizade (philía) e do ódio ou Discórdia (neîkos), respectivamente, como causa da união e da separação dos elementos. Tais forças, segundo uma alternância, predominam uma sobre a outra e vice-versa por períodos constantes, fixados pelo destino. (REALE; ANTISERI, op cit,9).

Os principais defensores do pluralismo antigo, ensinaram que não existe uma única substância ou elemento primordial, mas uma combinação dos quatro elementos defendidos pelos universalistas. À esta teoria dos quatro elementos, Aristóteles acrescentou à quintessência, que a acima do céu visível, envolveria a matéria formada pelos quatro elementos. A essa quintessência, ele chamou de éter.

A visão Aristotélica da matéria perdurou por cerca de dois mil anos até que, com o desenvolvimento da alquimia e das leis de conservação de massa e energia, surgisse a atomística científica. Em 1803, o inglês John Dalton rediscutiu a ideia de átomo utilizando como parâmetro o método científico. O átomo de Dalton consistia em uma bola maciça, e cada elemento químico possuía seu átomo característico e estes se combinavam em proporções definidas para formar as substâncias. A visão de Dalton sobre a matéria não explicava os estudos dos fenômenos elétricos e sua relação com a estrutura da matéria.

Os estudos sobre a natureza da luz e da radiação eletromagnética constituíram-se como pilares importantes no desenvolvimento de modelos atômicos posteriores. Um ano após John Dalton propor o seu modelo para o átomo, Thomas Young publica os resultados de seu famoso experimento, realizado em 1801, acerca dos padrões de interferência e do fenômeno da difração da luz sobre uma fenda dupla. Com este trabalho, o jovem e eclético médico inglês abre caminho para a teoria ondulatória da luz em detrimento à teoria corpuscular defendida por Isaac Newton.

Figura 3: Experiência da dupla fenda de Young.

Fonte: Fonte: Hewitt (2015).

A teoria ondulatória da luz consolidou-se após os trabalhos de James Clerk Maxwell. Em 1873, Maxwell publica o seu tratado sobre eletricidade e magnetismo. Nessa obra ele unificou os campos da eletricidade, óptica e magnetismo, descrevendo a luz como uma onda eletromagnética. Quatorze anos mais tarde, Heinrich Hertz estudava o surgimento de faíscas elétricas em superfícies metálicas submetidas a diferença de materiais diferentes. Hertz percebeu que faíscas originadas em uma dada superfície produziam faíscas na outra superfície correspondente. Este fenômeno empírico começou a ser decifrado em seguida, entre outros, com os trabalhos de Philip von Lenard. Posteriormente em 1897, com a descoberta experimental do elétron por Joseph John Thomson, as faíscas detectadas por Hertz são na verdade elétrons ejetados. Este efeito, conhecido como efeito fotoelétrico só seria explicado com clareza por Albert Einstein em 1905.

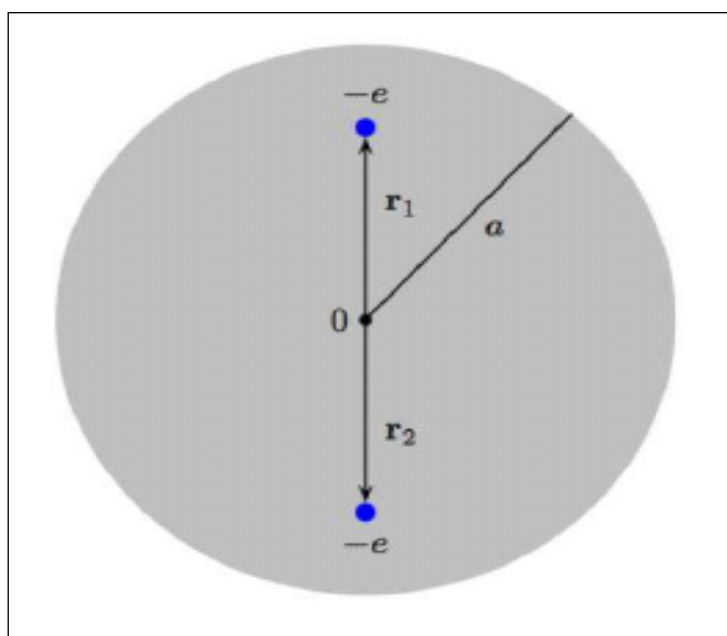
Paralelamente à descoberta da radioatividade por Henri Becquerel em 1896, e à descoberta de Ernest Rutherford da emissão de raios alfa e beta por determinados átomos, aproximava-se a solução para um dos grandes enigmas da física clássica. A radiação do corpo negro e a catástrofe do ultravioleta foram elucidados pelos estudos de Max Planck em 1900. Para Planck a explicação clássica estava errada porque a radiação eletromagnética gerada pelo corpo negro não era contínua, mas discreta. Sendo esta radiação proporcional à frequência emitida e a uma dada constante.

A física de partículas tem como marco inicial o trabalho de Joseph John Thomson, publicado em 1904, sobre a natureza elétrica do átomo. As publicações científicas sobre a análise dos estudos dos raios catódicos, da radioatividade e dos

fenômenos elétricos, influenciaram a pesquisa de Thomson sobre a natureza elétrica da matéria.

O átomo de Thomson consistia em uma esfera carregada de maneira uniforme positivamente, com corpúsculos carregados negativamente distribuídos em seu interior, como ilustra a figura 03. Estes corpúsculos receberam o nome de elétrons e impuseram uma mudança de paradigma ao propor a divisibilidade do “indivisível”. A descoberta dos elétrons contribuiu para o avanço das pesquisas sobre a estrutura da matéria e para a germinação e desenvolvimento da física de partículas. Na figura 02 abaixo, a representa o raio de distribuição esférica, r_1 e r_2 são os raios de equilíbrio das cargas negativas, e $-e$ representa as cargas negativas, ou seja, são os elétrons distribuídos no interior da esfera.

Figura 4: Modelo atômico idealizado por Thomson para o caso de dois elétrons



Fonte: Parente, et. al (2013).

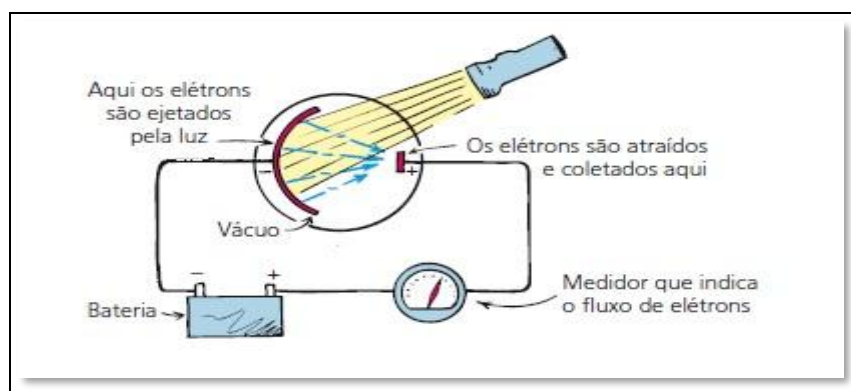
Segundo Hewitt (2015):

Thomson raciocinou que o valor do desvio do feixe dependia da massa das partículas e de sua carga elétrica. De que maneira? Quanto maior for a massa de cada partícula, maior sua inércia e menor será o desvio produzido. Quanto maior for a carga de uma dessas partículas, maior será a força e o correspondente desvio. E quanto maior a velocidade, menor será o desvio. A partir de medições cuidadosamente feitas do desvio do feixe, Thomson conseguiu calcular a razão entre a massa e a carga das partículas que

formavam o raio catódico, que foram chamadas de **elétrons**. (HEWITT,2015, p.605.).

Em 1905, Albert Einstein publica um trabalho sobre a interação da luz com a matéria. Neste estudo, seguindo o caminho inaugurado por Planck, Einstein defende que esta interação não é contínua, mas discreta. A explicação baseia-se no fato de que a radiação eletromagnética é emitida por pacotes ou quantum de energia, afastando-se da concepção ondulatória da luz. Portanto, além de lançar os fundamentos do que viria a ser a mecânica quântica, Albert Einstein encontra nesta seara uma explicação simples, como se pode observar na figura 03, para o efeito fotoelétrico.

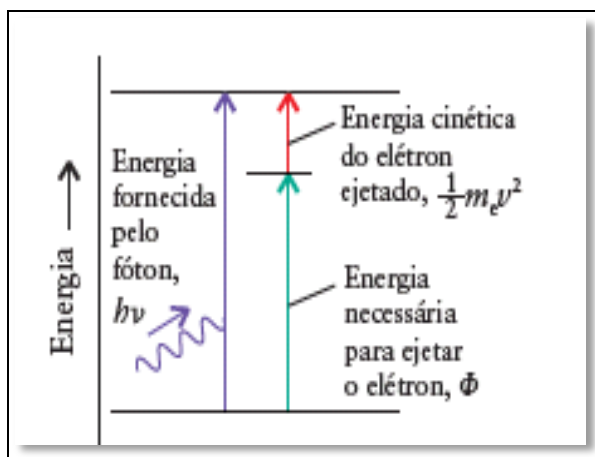
Figura 5: Esquema ilustrativo do efeito fotoelétrico de Einstein.



Fonte: Hewitt (2015).

Segundo Einstein, o quantum de energia ou energia do fóton incidente era múltiplo da frequência da radiação eletromagnética. Propondo assim a equação: $E = h\nu - \phi$. Onde h é a constante de Planck, cujo valor é aproximadamente $6,62 \times 10^{-34} \text{ m}^2 \text{ kg} / \text{s}$; ν é a frequência do fóton incidente e ϕ é a função trabalho ou energia necessária para que os elétrons sejam ejetados do material.

Figura 6: Esquema ilustrativo da relação entre as energias da equação de Einstein para o efeito fotoelétrico.

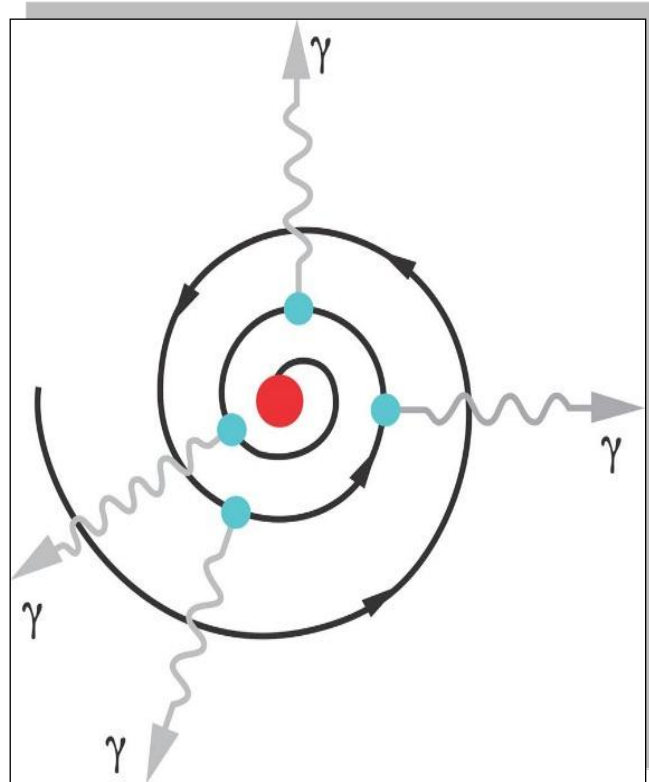


Fonte: Atkins (2012).

Entre 1900 e 1911, após uma série de experimentos envolvendo espalhamento de partículas alfa, Ernest Rutherford, que fora discípulo de Thomson, chega a uma extraordinária conclusão. O núcleo atômico é diminuto e maciço, com natureza elétrica similar às partículas alfa. Os elétrons, de carga negativa, estariam orbitando o núcleo após uma imensa região de grande vazio. A descrição do átomo trazida por Rutherford lembrava a configuração das orbitas dos planetas ao redor do sol e ficou conhecido como modelo do sistema solar.

As contribuições sobre as concepções atômicas trazidas por Rutherford, Thomson e outros contemporâneos, encontravam limitações apontadas pelo eletromagnetismo clássico. O Teorema de Joseph Larmor (1857-1942) afirmava que uma partícula carregada e acelerada, irradiaria energia eletromagnética por unidade de tempo. Isso resultaria no desequilíbrio elétrico do raio atômico, fazendo com que os elétrons se chocassem com o núcleo e o átomo aniquilasse-se.

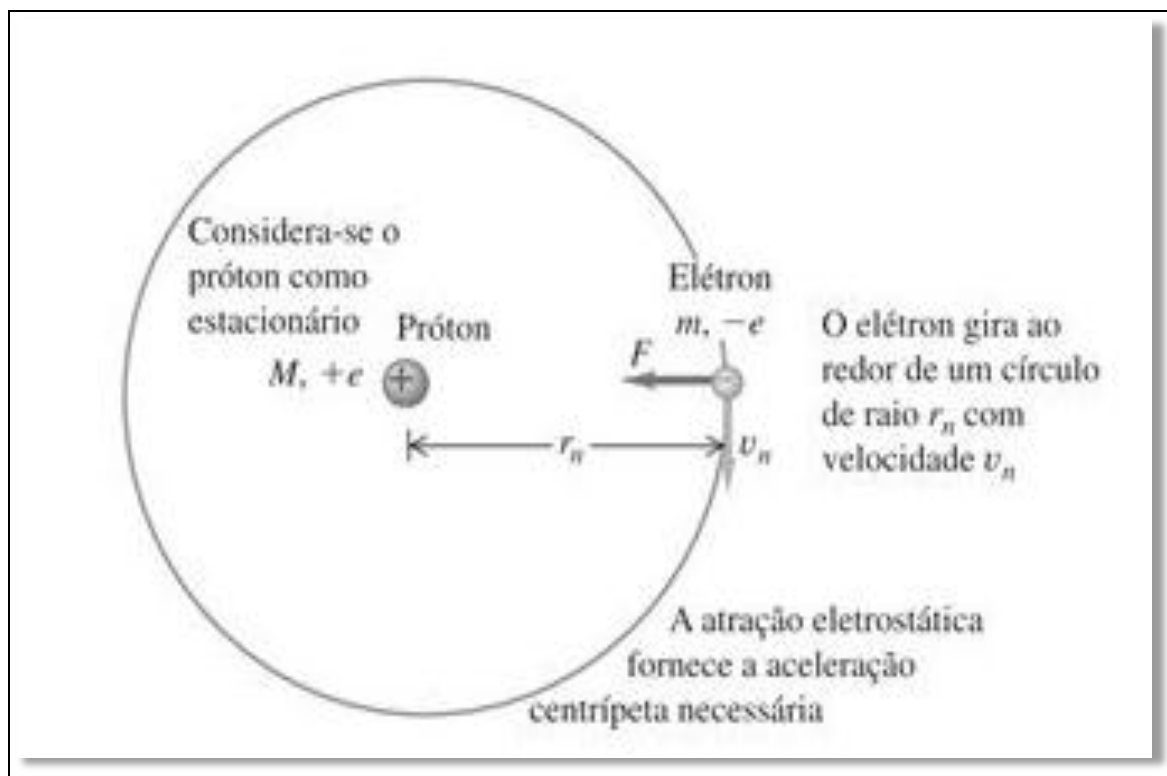
Figura 7: Modelo atômico de Rutherford



Fonte: Filho; Kamassury (2018).

A partir dos trabalhos de Planck e Einstein sobre a quantização da radiação eletromagnética, Niels Bohr propôs, entre 1913 e 1915, uma ideia para a quantização do momento angular dos elétrons. Um dos resultados do seu trabalho foi formulação de alguns postulados para o átomo.

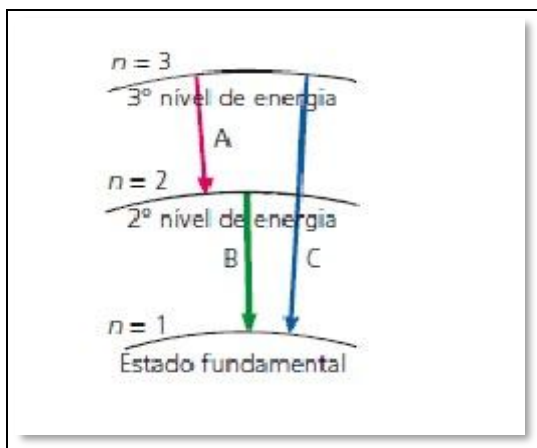
Figura 8: Modelo atômico simplificado de Bohr para o átomo de hidrogênio.



Fonte: Young e Freedman (2009).

Os postulados de Bohr esclareciam que os elétrons giram ao redor do núcleo atômico em orbitas circulas de acordo com determinadas quantidades de energia. Ao se encontrar em uma determinada orbita, a energia apresentada pelos elétrons é constante. Os elétrons podem migrar de órbitas a depender a emissão ou absorção de energia equivalente a diferença de energia entre as orbitas relacionadas. Na figura 9, vemos um esquema simplificado dos saltos realizados pelos elétrons entre os níveis de energia. As setas nas cores vermelho, verde e azul, indicam sentido do deslocamento dos elétrons.

Figura 9: Esquema simplificado dos saltos realizados pelos elétrons entre os níveis de energia de um átomo

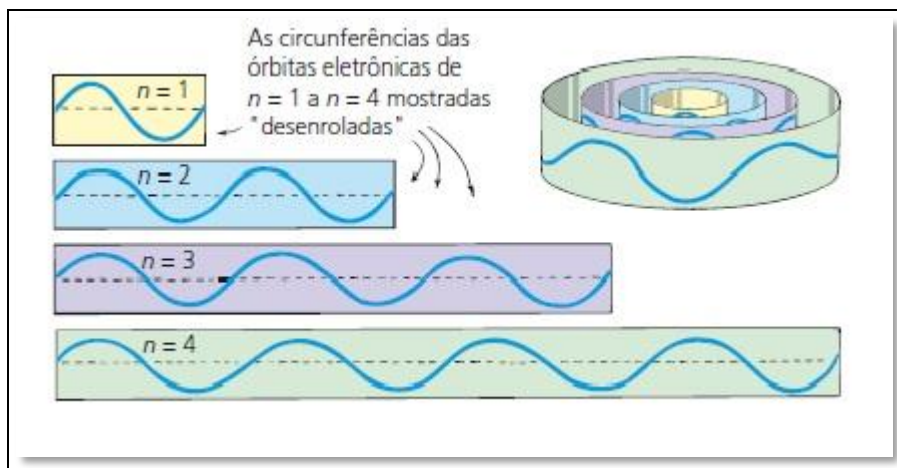


Fonte: Hewitt (2015).

Em 1924, inspirado nos trabalhos de seu irmão, Louis de Broglie sugeriu a existência de ondas de matéria. Para de Broglie, a matéria, assim como a radiação eletromagnética, teria natureza dual e a sua energia total seria múltiplo da frequência de onda referente ao seu movimento. Três anos mais tarde, G.P. Thomson, filho de J.J. Thomson, confirmou experimentalmente a hipótese de de Broglie ao analisar os padrões de difração do elétron. Este resultado trouxe para os físicos contemporâneos à época uma situação inusitada. Enquanto o pai, J.J. Thomson, demonstrou que o elétron era uma partícula, seu filho apresentou a natureza ondulatória do elétron.

A teoria das ondas de matéria proposta por de Broglie teve impacto direto no modelo atômico de Niels Bohr. Nesta perspectiva, as orbitas dos elétrons ou ondas eletrônicas apresentam interferências construtivas sobre si mesmas. De modo gradativo, as circunferências das orbitas mais internas às mais externas são equivalentes aos seus comprimentos de ondas. Esta concepção acerca dos orbitais eletrônicos, elucida a questão de porque o elétron não apresentar movimento espiralado em direção ao núcleo, aprimorando, portanto, as contribuições de Rutherford e Bohr para a estrutura da matéria.

Figura 10: Os valores discretos das orbitas eletrônicas e a relação com seus respectivos comprimentos de ondas.



Fonte: Hewitt (2015).

Contemporâneo ao surgimento da ideia e da comprovação das ondas de matéria, o físico austríaco Erwin Schrödinger introduziu o conceito e a interpretação da função de onda para a matéria. Utilizando a analogia do movimento de uma partícula em uma caixa, Schrödinger considerou as características ondulatórias desta partícula e propôs que o seu movimento seria descrito a partir da análise da função de onda a esta atribuída. Como consequência da interpretação da função de onda de Schrödinger, surge os conceitos de nuvem de elétrons e densidade de probabilidade de elétrons, uma vez que não haveria neste contexto como localizar pontualmente a posição do elétron.

Esta hipótese da densidade de probabilidade dos elétrons tem impacto direto na descrição de seus orbitais. O comportamento dos elétrons nos orbitais eletrônicos passam a ser partir dos valores discretos os seus números quânticos principal, secundário, magnético e de spin. O número quântico principal n , é associado a energia do orbital observado. O secundário l , está relacionado ao momento angular do orbital. O número quântico magnético m_l , possibilita distinguir dois orbitais em uma mesma subcamada. E o número quântico de spin m_s , descreve a direção de rotação do elétron.

Figura 11: Descrição dos números quânticos nos átomos.

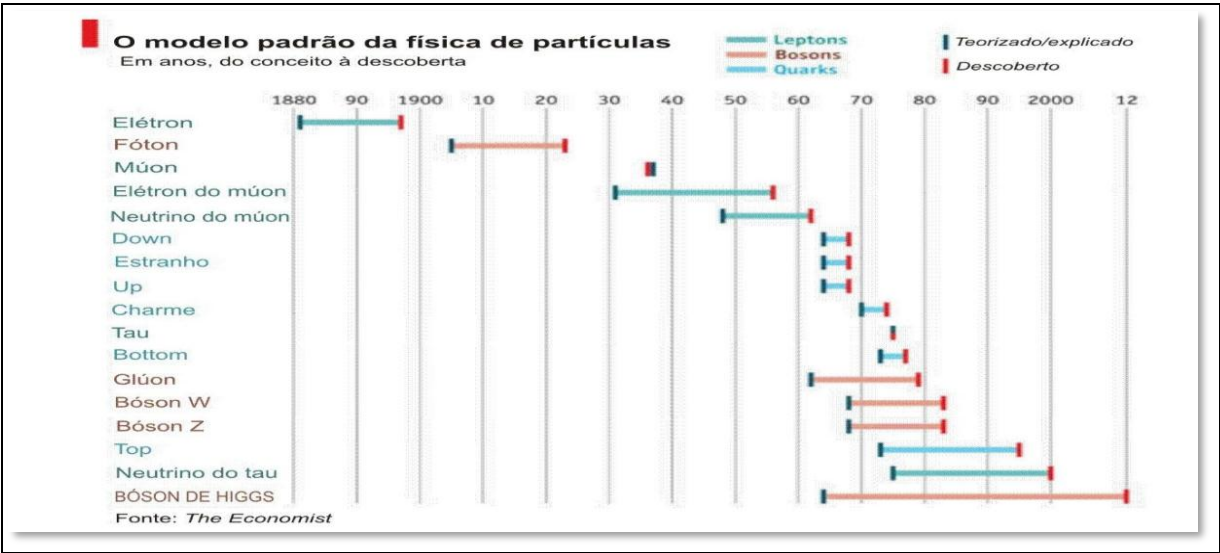
Nome	Símbolo	Valores	Especifica	Indica
principal	n	$1, 2, \dots$	camada	tamanho
momento orbital angular*	l	$0, 1, \dots, n - 1$	subcamada: $l = 0, 1, 2, 3, 4, \dots$ $s, p, d, f, g, \dots$	forma
magnético	m_l	$l, l - 1, \dots, -l$	orbitais de subcamada	orientação
magnético de spin	m_s	$+\frac{1}{2}, -\frac{1}{2}$	estado de spin	direção de spin

Fonte: Atkins (2012).

O século XX representou um período promissor para o estudo da estrutura da matéria. Desde a ideia do fóton de 1905, passando pela descoberta do próton em 1919, do neutrino do elétron em 1930, até a comprovação do bóson de Higgs em 2012, uma enorme variedade de partículas subatômicas foi descoberta neste período. Outros números quânticos foram encontrados a partir da perspectiva da conservação da energia nas observações teóricas e experimentais.

Diante da proposição de novos modelos teóricos trazidos pela mecânica quântica e do avanço das tecnologias experimentais, uma teoria física com uma matemática robusta fez-se necessária para interpretar as suas características, propriedades e interações. O modelo teórico atual, construído a partir da observação e da análise experimental, que explica as classificações e as interações das partículas, é o modelo padrão das partículas elementares.

Gráfico 01: Evolução histórica das partículas elementares do modelo padrão.



Fonte: The Economist (2012).

Antes da consolidação do modelo padrão atual outras partículas foram consideradas elementares ao longo do último século. Entre estas destacamos os prótons, nêutrons, os mésons π e Káon. Hoje tais partículas não elementares são consideradas nucleons, ou seja, são formadas por agrupamentos de outras partículas elementares, os quarks.

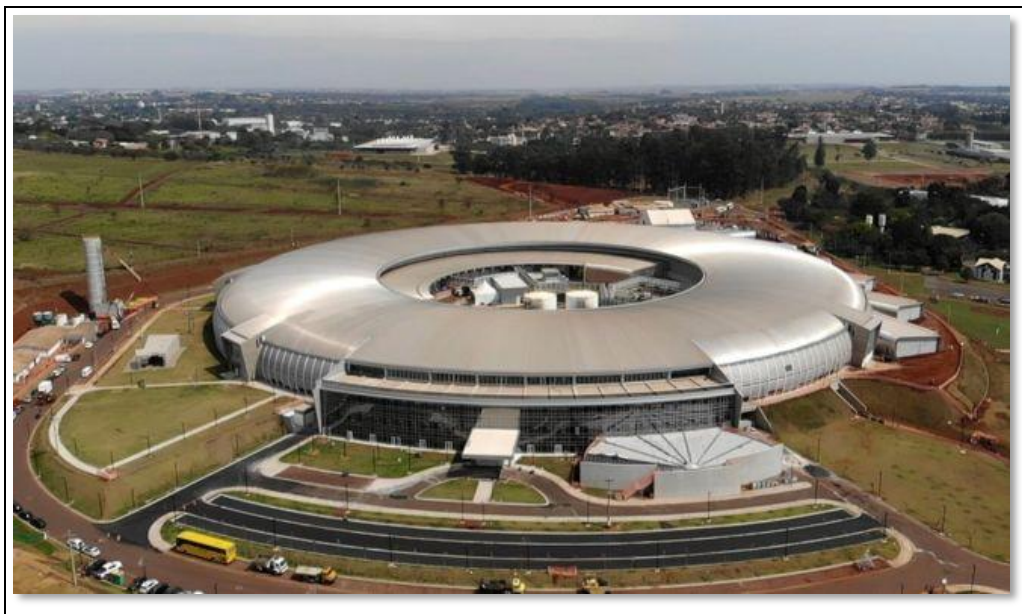
Uma contribuição importante na busca pela catalogação e compreensão das menores partículas da matéria, se deve ao trabalho do físico brasileiro Cesar Lattes. Ao analisar a radiação cósmica nas altas camadas da atmosfera, Lattes e outros cientistas internacionais, em 1947 descobriram o mésons π como resultado da interação dessa radiação cósmica com as camadas da atmosfera. Embora não tenha ganhado o Nobel de física por este acachado, nem a partícula encontrada seja considerada elementar, o trabalho do professor Lattes foi de fundamental importância para o desenvolvimento da física de partículas.

A diferença entre uma partícula elementar e outra não elementar é aparentemente simples, entretanto, muitas partículas foram consideradas elementares e posteriormente perderam este status. Sobre a definição de partícula elementar, Abdalla (2016) escreve que:

Apesar de as partículas elementares serem objetos complexos, dadas a quantidade e a variedade de suas interações, o critério *elementar* não é difícil, é até bastante intuitivo: toda partícula que pode ser quebrada não é elementar, e toda aquela que tem um único constituinte é considerada elementar. No entanto, do ponto de vista experimental e teórico, o conceito não é tão simples assim; há grandes dificuldades quanto aos limites intrínsecos à observação, e há também dificuldades na concepção dos modelos teóricos que descrevem o comportamento da matéria. (ABDALLA, 2016, p.30).

A construção da configuração atual do modelo padrão de partículas elementares se deveu em grande parte à utilização dos aceleradores de partículas. Nos quais, as colisões e os decaimentos nucleares foram estudados e impulsionaram a previsão e a descoberta de novas partículas, e das interações a estas associadas. Entre os principais aceleradores de partículas podemos elencar o LHC/CERN na Suíça, considerado o maior e mais moderno do mundo e o recente acelerador de partículas brasileiro, o Sirius.

Fotografia 01: Acelerador de partículas brasileiro inaugurado no final de 2018 em Campinas-SP



Fonte: BBC Brasil. (2018).

No modelo padrão, as partículas elementares são classificadas e agrupadas de acordo com seus números quânticos e com as leis de conservação de energia. Nas lições de Tipler e Llewellyn (2014), encontramos a origem da teoria do modelo padrão:

O modelo padrão é atualmente (desde 1978) a teoria oficial da física de partículas elementares. Trata-se na verdade de uma combinação de três teorias: a teoria dos quarks, que se propõe a explicar a estrutura das partículas; a teoria eletrofraca, que é a teoria unificada de duas interações, a interação eletromagnética e a interação fraca; e a cromodinâmica quântica, que é a teoria da interação forte. (TIPLER; LIEWELLYN, 2014, p. 384).

Uma das categorizações, trazidas pelo modelo padrão, é expressa através do número quântico de spin. As partículas que possuem spin fracionário ($1/2$, $3/2$, $5/2$...) são chamadas de férmions e as que possuem spin inteiro ($0, 1, 2, 3, \dots$) são chamados de bósons. Neste modelo os férmions são os léptons e os quarks, e os bósons são o fóton, os glúons, o grávitron, as partículas Z e W, e o de Higgs.

Figura 12: Apresentação das três gerações de férmions e das partículas mediadoras.

Famílias			
	I	II	III
Quarks	2.4 MeV $\frac{2}{3}$ $\frac{1}{2}$ u up	1.27 GeV $\frac{2}{3}$ $\frac{1}{2}$ c charm	171.2 GeV $\frac{2}{3}$ $\frac{1}{2}$ t top
	4.8 MeV $-\frac{1}{3}$ $\frac{1}{2}$ d down	104 MeV $-\frac{1}{3}$ $\frac{1}{2}$ s strange	4.2 GeV $-\frac{1}{3}$ $\frac{1}{2}$ b bottom
Leptons	<2.2 eV 0 $\frac{1}{2}$ ν_e neutrino eletrônico	<0.17 MeV 0 $\frac{1}{2}$ ν_μ neutrino muônico	<15.5 MeV 0 $\frac{1}{2}$ ν_τ neutrino tauônico
	0.511 MeV -1 $\frac{1}{2}$ e elétron	105.7 MeV -1 $\frac{1}{2}$ μ múon	1.777 GeV -1 $\frac{1}{2}$ τ tau
			80.4 GeV ± 1 1 $W^\pm$ bóson W
			91.2 GeV 0 1 Z^0 bóson Z
			0 0 1 γ fóton
			0 0 1 g glúon

Fonte: Pimenta, et. al (2013).

Os férmions por sua vez são divididos em dois grupos: os léptons (elétron, neutrino do elétron, múon, neutrino do múon, tau e neutrino do tau) e os quarks (up, down, estranho, top, bottom e charmoso). Esses últimos possuem outro tipo de conservação de energia, expresso pela carga cor (verde, vermelho ou azul), que não correspondem ao padrão óptico de cores, mas a uma propriedade intrínseca destes.

Os férmions também apresentam, simetricamente, suas antipartículas correspondentes, que constituem a chamada antimatéria. De acordo com a teoria da simetria de conjugação de carga, a massa e o número quântico de spin das antipartículas é o mesmo da sua partícula referente. No entanto, os números bariônicos, leptônicos e a estranheza, por exemplo, apresentam o mesmo valor em módulo, porém, com o sinal oposto.

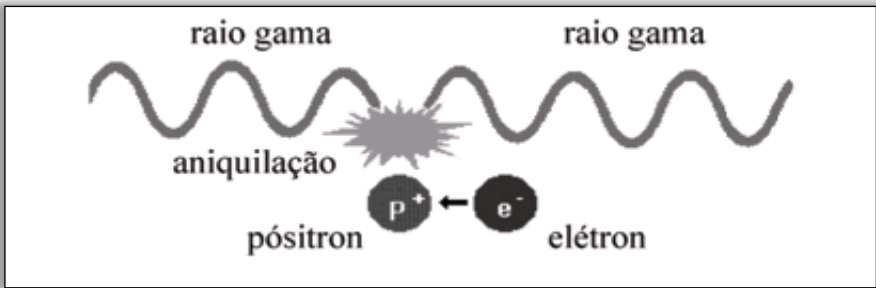
Figura 13: A simetria partículas e antipartículas no modelo padrão.

	Partículas	Antipartículas	Total
Léptons	$e^-, \nu_e, \mu, \nu_\mu, \tau, \nu_\tau$ (6)	$e^+, \bar{\nu}_e, \bar{\mu}, \bar{\nu}_\mu, \bar{\tau}, \bar{\nu}_\tau$ (6)	12
Quarks	u, d, s, c, b, t (cada quark pode ter 3 cores) (6x3 = 18)	$\bar{u}, \bar{d}, \bar{s}, \bar{c}, \bar{b}, \bar{t}$ (18)	36
Mediadoras	$\gamma, W^+, W^-, Z^0, g_1, g_2, g_3, g_4, g_5, g_6, g_7, g_8$ (12)	As antipartículas são as mesmas que as partículas	12
Total			60

Fonte: Abdalla (2005).

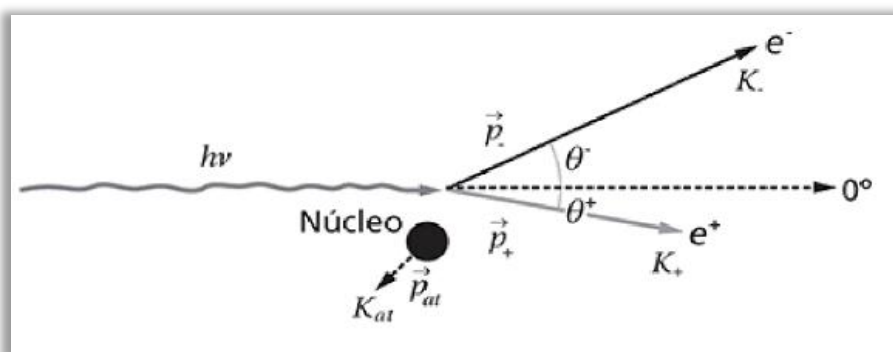
Há dois fenômenos importantes envolvendo o par, partícula -antipartícula. No processo conhecido por aniquilação, há a colisão de uma partícula com sua antipartícula correspondente, resultando no desaparecimento destas e numa liberação enorme de quantidade de energia. O outro fenômeno, a produção de par, ocorre quando fótons de altas energias originam, por exemplo, o par elétron-pósitron. O pósitron é, portanto, a antipartícula do elétron.

Figura 14: Representação ilustrativa do fenômeno da aniquilação



Fonte: Machado, et. al (2003).

Figura 15: Representação ilustrativa do fenômeno de produção de pares.

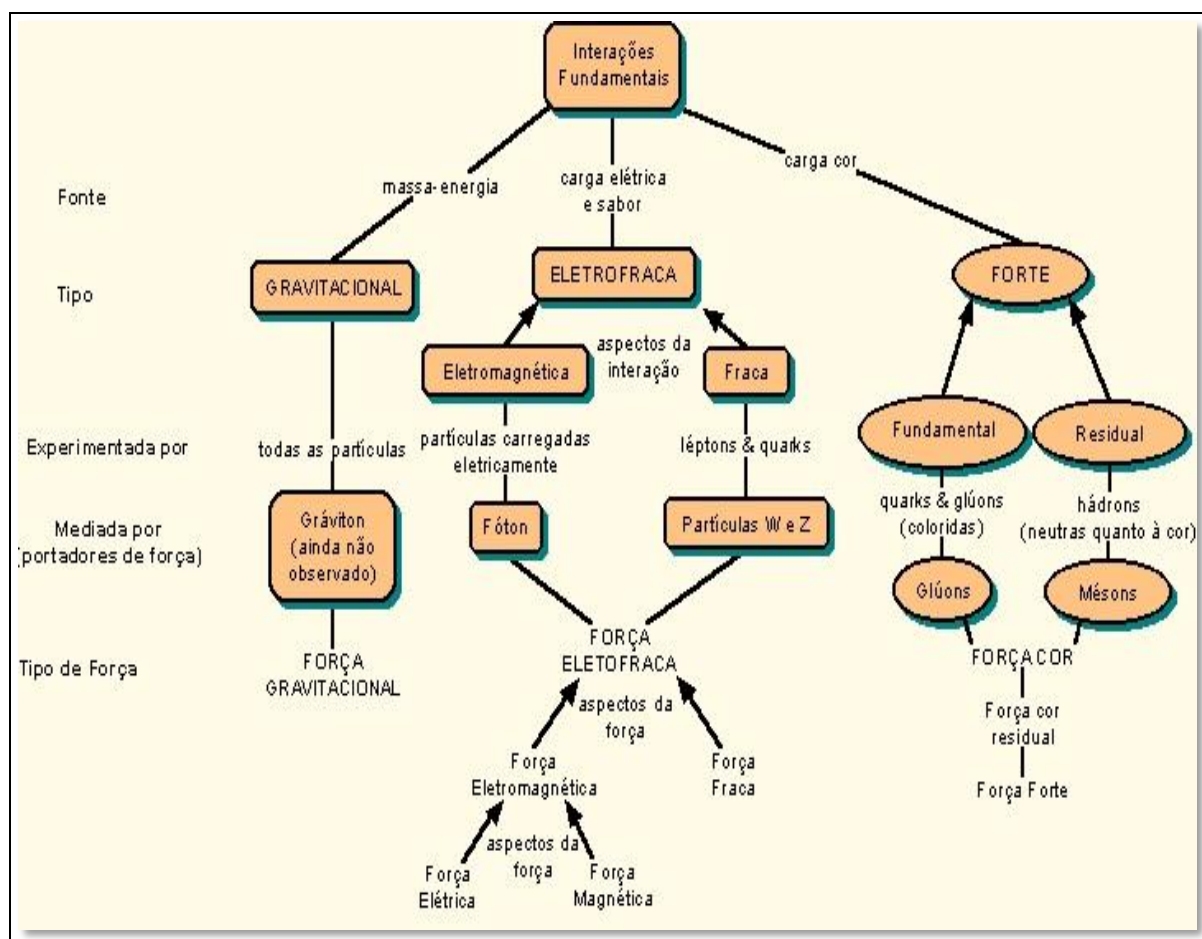


Fonte: Okuno (2010)

Os quarks não são encontrados livres, são observados em grupos chamados de hádrons. Os hádrons, por sua vez, são classificados em dois grupos, os bárions e os mésons. Os nucleons formados por três quarks são chamados de bárions e os que são formados por um quark e um antiquark recebem a denominação de mésons.

As interações que ocorrem entre os férmions são mediadas pelos bósons, que, por isso, também são conhecidas como partículas mediadoras. Para cada tipo de interação ou força fundamental da natureza, tem-se suas manifestações executadas e quantizadas pelos mésons. Existem quatro forças ou interações na natureza, a força gravitacional, a força eletromagnética e as forças nucleares forte e fraca, como se pode observar, a seguir, na figura 16.

Figura 16: As interações fundamentais da matéria.

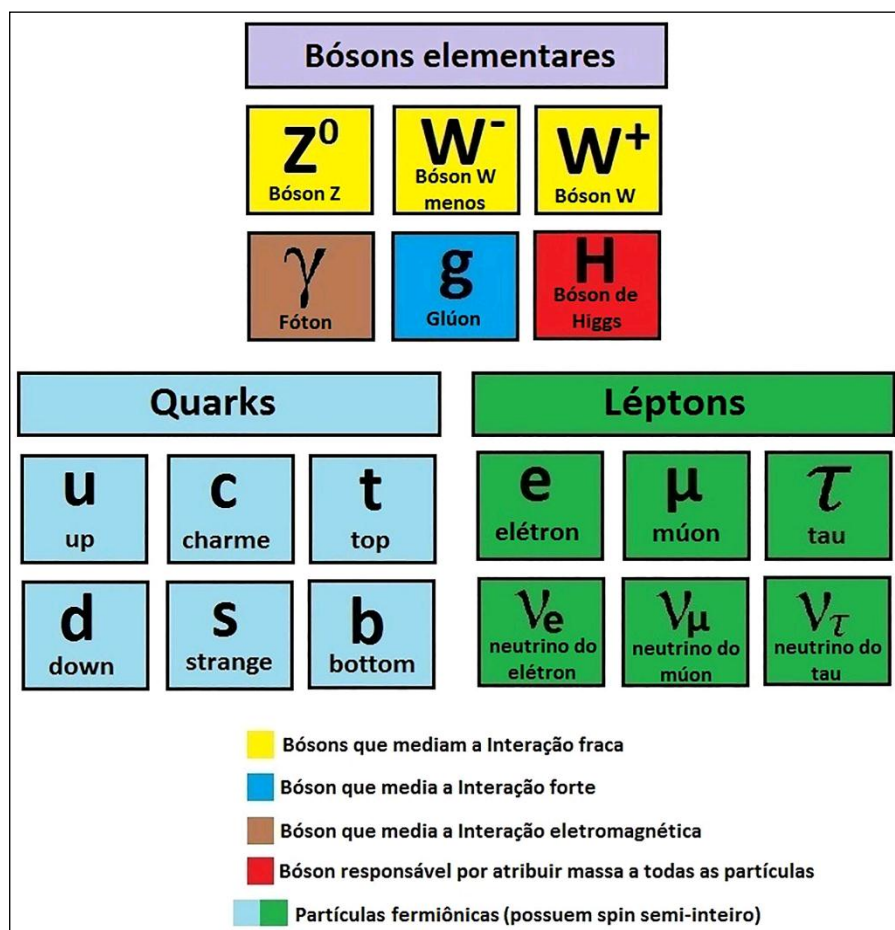


Fonte: Moreira (2004)

A força nuclear forte é a que atua nos hádrons, fazendo com que os grupos de quarks permaneçam unidos por meio de partículas mediadoras chamadas de glúons. A interação responsável, entre outras coisas, pelo decaimento radioativo é a força nuclear fraca. As partículas mediadoras envolvidas neste tipo de interação, são os bósons Z e W, denominados bósons de Gauge. Os fótons são os bósons que mediam a interação eletromagnética, como a que ocorre entre os elétrons e o núcleo atômico. A força gravitacional é exercida por meios de grávitons, que são os únicos bósons que ainda não foram confirmados experimentalmente.

Uma das últimas partículas a ser descoberta, e recentemente comprovada experimentalmente, foi o bóson de Higgs. Esta partícula é responsável pela geração de massa aos bósons de Gauge.

Figura 17: Férmiões e Bósons do modelo padrão de partículas elementares.



Fonte: Souza, *et. al* (2018)

Todas as 61 partículas e antipartículas elementares do modelo padrão representam cerca de menos de 5% de toda a massa do universo. Segundo teorias cosmológicas contemporâneas, o restante da massa total seria constituído por matéria e energia escura. Assim, o desafio de compreender a realidade a partir da interpretação científica continua, e a cada nova teoria que surge na física de partículas há um maior estreitamento análogo com as ideias dos primeiros filósofos da natureza.

As aplicações dos conhecimentos acerca das partículas elementares e das interações fundamentais, estão cada vez mais presente no mundo atual. Seja na medicina, com o diagnóstico ou tratamento de diversos tipos de tumores, no desenvolvimento de mecanismos para a geração de energia, ou no avanço da engenharia eletrônica, e de telecomunicações, é indispensável o conhecimento da teoria do modelo padrão de partículas elementares para compreender todas as transformações tecnológicas atuais e futuras no mundo.

3 METODOLOGIA

Propusemos inicialmente a produção um material que pudesse ser utilizado como suporte por professores do ensino médio. Neste sentido, para obter resultados preliminares sobre o impacto da leitura deste produto educacional pelos estudantes do 3º ano do ensino médio, utilizamos nesta pesquisa a análise qualitativa e quantitativa de dados subjetivos por meio de questionários.

A escolha do tema da H.Q. teve como critério a influência que os personagens e as temáticas relativas à física de partículas, das histórias em quadrinhos de super-heróis, têm sobre o público adolescente. O público alvo foi definido a partir da relação do tema do produto educacional com a proposta curricular de física para a 3ª ano do ensino médio.

Para enfrentar este grande desafio, o estudo da técnica e a produção da história em quadrinhos seguiram algumas etapas e contaram com a contribuição de diversos atores importantes. Foram convidados 14 estudantes do ensino médio de 1º e 2ºs anos, do ano letivo de 2018, da escola técnica estadual Maria Eduarda Ramos, no município de Carpina-PE, que possuíam alguma experiência técnica em desenhos de personagem de quadrinhos. O processo de trabalho contou ainda com a indispensável participação de três estudantes do curso de Design da Universidade Federal de Pernambuco – UFPE, Centro Acadêmico do Agreste – CAA, sendo dois deles, egressos da escola técnica estadual citada acima.

A primeira etapa do trabalho foi a socialização dos conhecimentos que os 14 estudantes consultores possuíam sobre a estrutura e a linguagem de narrativas em quadrinhos. Os estudantes mostraram desenvoltura e propriedade em suas falas sobre a temática, o que nos possibilitou, como consenso, perceber as potencialidades e as limitações técnicas deste grupo participante.

A segunda etapa consistiu na realização da oficina para os discentes do ensino médio da referida escola, pelos estudantes egressos desta e atuais estudantes de Design da UFPE/CAA, sobre construção de storyboard para H.Q. Esta etapa teve um papel fundamental na construção do roteiro, pois além de podermos compreender os

fundamentos teóricos desta técnica, confeccionamos algumas storyboard com temática livre.

Fotografia 02: Realização da oficina sobre produção de storyboard para HQs.



Fonte: O Autor (2019).

Na terceira etapa começamos a esboçar o roteiro da H.Q. e compartilhá-lo com os estudantes consultores para agregar suas contribuições sobre a narrativa, os cenários, os personagens e principalmente a linguagem a ser utilizada. A colaboração dos alunos nesta fase do trabalho restringiu-se à análise e recomendações para o tamanho do roteiro e para a compreensão das palavras utilizadas nos diálogos, uma vez que os outros aspectos como, o título e o tema tiveram uma recepção muito positiva.

Fotografia 03: Aplicação do produto educacional e dos questionários referentes aos pré-teste, pós-teste, e os de pesquisa de opinião.



Fonte: O Autor (2019).

O último questionário foi aplicado dois dias depois e procurou verificar o impacto da leitura e as possíveis investigações espontâneas que os estudantes realizaram sobre os conceitos, histórias e aplicações das partículas elementares, após o último encontro. A etapa final foi centralizada na compilação e análise dos dados objetivos e subjetivos da etapa anterior.

4. ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Os resultados apresentados neste trabalho estão divididos em três partes, correspondentes à compilação das respostas dos vinte estudantes do terceiro ano do ensino médio participantes da pesquisa. Os três questionários investigativos, 01, 02 e 03 aplicados aos discentes participantes deste estudo, buscaram não somente verificar conhecimentos prévios e posteriores à leitura do produto educacional, mas também coletar sugestões e verificar indícios de atividade investigativa dos estudantes sobre a temática da física de partículas após o contato com a HQ.

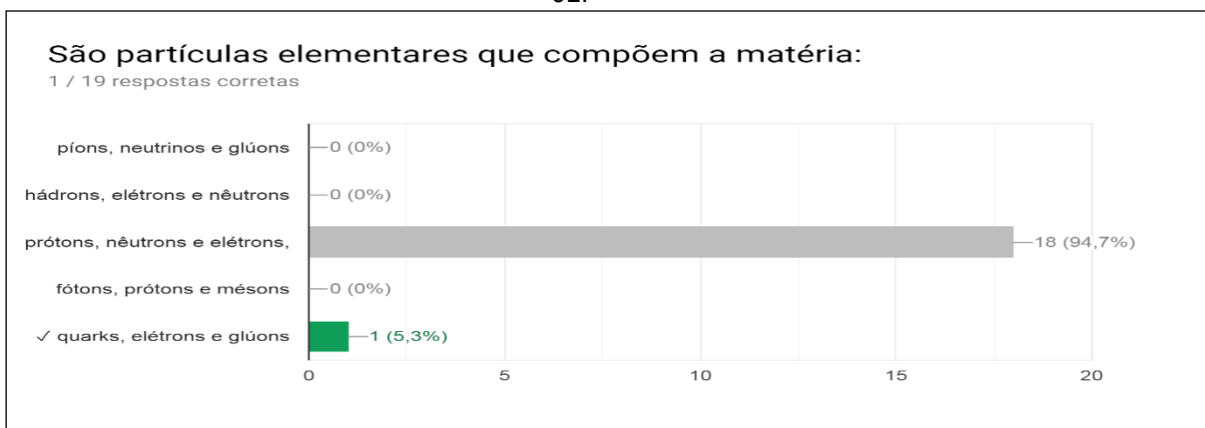
4.1. Análise dos padrões das respostas do questionário 01 referente a primeira e segunda aplicações.

A primeira etapa desta parte da pesquisa consiste em comparar os conhecimentos prévios dos estudantes sobre noções básicas acerca da estrutura da matéria e suas interações, com a possível confirmação ou modificação desses conceitos, após a leitura da HQ. Através da análise quantitativa, utilizando um pré-teste e reaplicando-o depois da apresentação do produto educacional, pode-se perceber, se houve ou não alterações nos padrões de resposta.

A primeira e a segunda aplicações do questionário foram executadas sem que os estudantes tivessem conhecimento de seus desempenhos, a fim de o primeiro resultado não influenciar diretamente o último. Os gráficos a seguir foram analisados aos pares, do total de dez questões propostas, uma vez que cada par representa, respectivamente, o padrão de resposta da primeira e segunda aplicação referente a mesma questão da atividade proposta. Os eixos do sistema de coordenadas do gráfico representam na ordenada e na abscissa, respectivamente, as alternativas de respostas e a quantidade de estudantes que participaram da pesquisa.

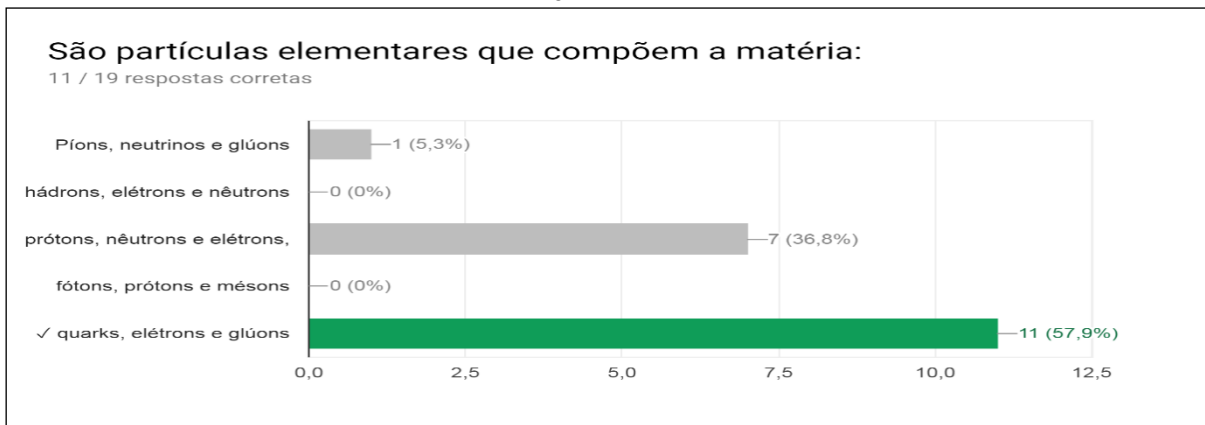
a) Padrões de respostas referentes a questão 01

Gráfico 2: Padrão de respostas da questão 01, referente a primeira aplicação do questionário 01.



Fonte: Arquivo pessoal do autor.

Gráfico 3: Padrão de respostas da questão 01, referente a segunda aplicação do questionário 01.

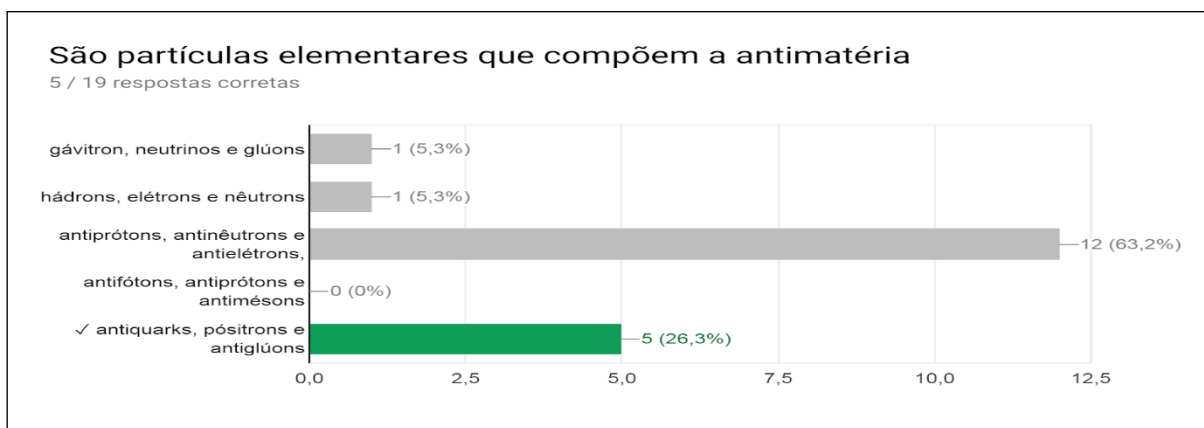


. Fonte: Arquivo pessoal do autor.

Em todos os gráficos as respostas corretas estão destacadas em barra verde. No gráfico 02, observamos, com 94,7%, a concepção clássica da estrutura da matéria, própria de um estudante dos anos finais do ensino fundamental. Já o gráfico 03 traz uma importante mudança. Após a leitura da HQ, o percentual de estudantes que ainda abraçam esta concepção clássica cai para 36,8%, enquanto o entendimento em consonância com o modelo padrão sobe de 5,3% para 57,9% entre os discentes.

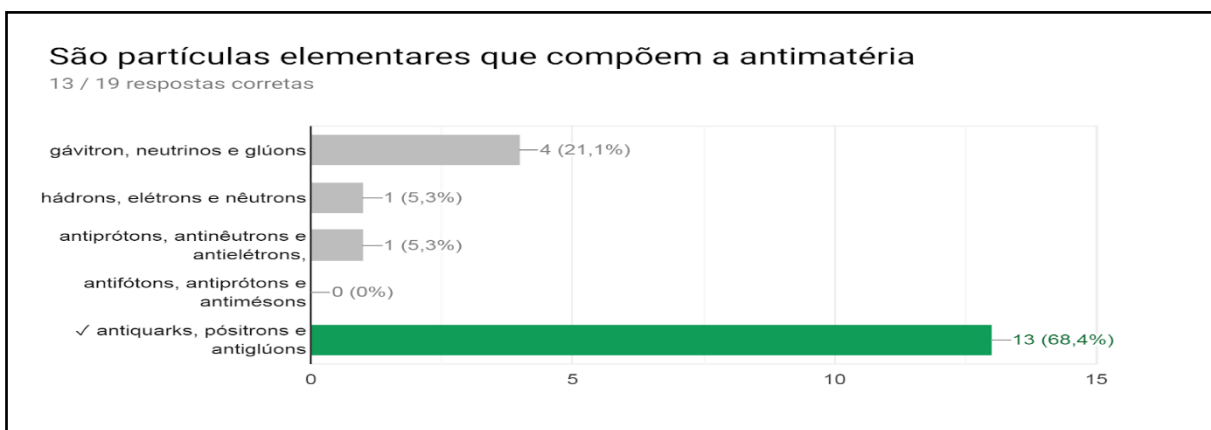
b) Padrões de respostas referentes a questão 02

Gráfico 4: Padrão de respostas da questão 02, referente a primeira aplicação do questionário 01.



. Fonte: Arquivo pessoal do autor.

Gráfico 5: Padrão de respostas da questão 02, referente a segunda aplicação do questionário 01.



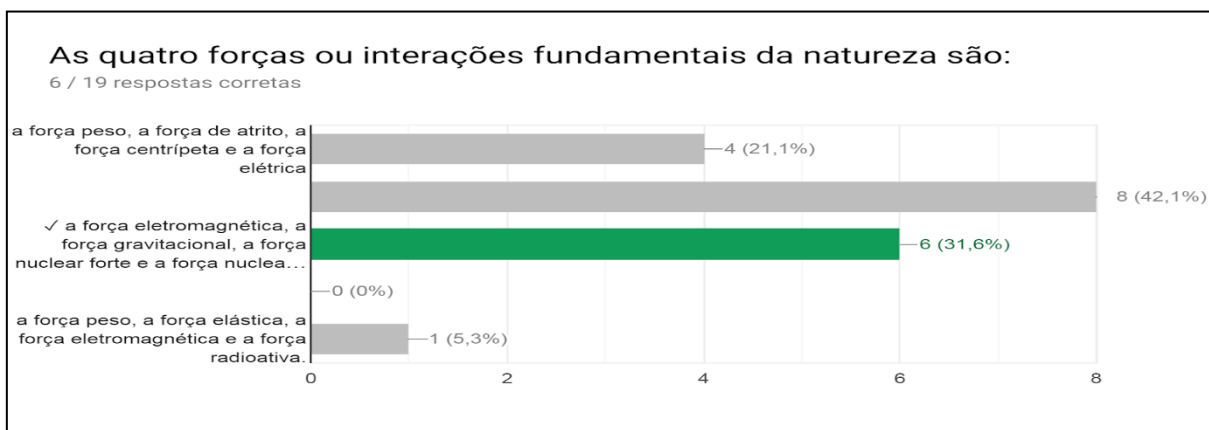
Fonte: Arquivo pessoal do autor.

Vemos no gráfico 04 que os estudantes associam o prefixo “anti”, de forma aleatória como parâmetro para a maioria das respostas. Entre as escolhas, entretanto, é perceptível o uso da analogia com os conceitos de estrutura da matéria próprios de alunos do nono ano do ensino fundamental. Essa é uma previsão esperada e justificada em virtude de como a física de partículas é apresentada neste nível de ensino. No gráfico 05, observa-se que em relação ao

gráfico 04, o percentual de estudantes que respondem corretamente, após a leitura da HQ, passa de 26,3% para 68,4%.

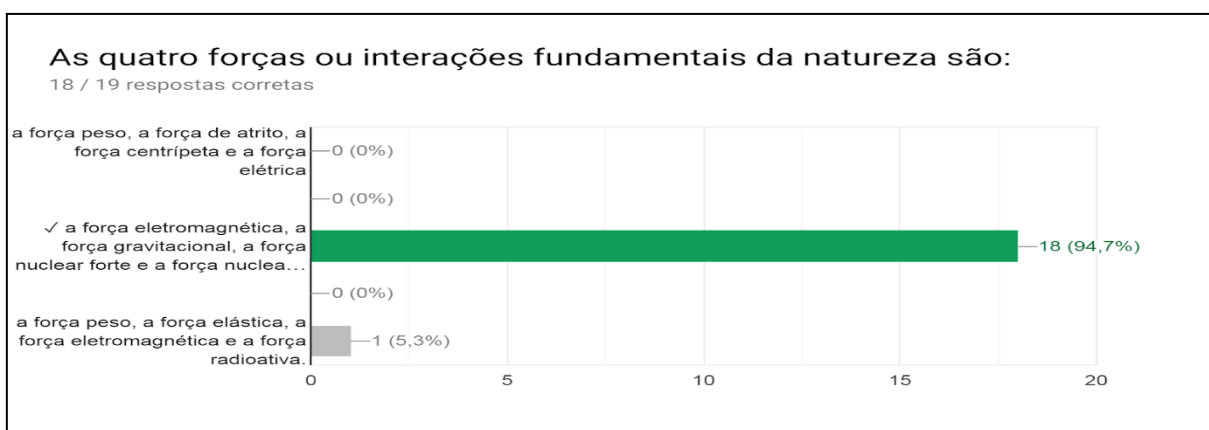
c) Padrões de respostas referente a questão 03

Gráfico 6: Padrão de respostas da questão 03, referente a primeira aplicação do questionário 01.



Fonte: Arquivo pessoal do autor.

Gráfico 7: Padrão de respostas da questão 03, referente a segunda aplicação do questionário 01.



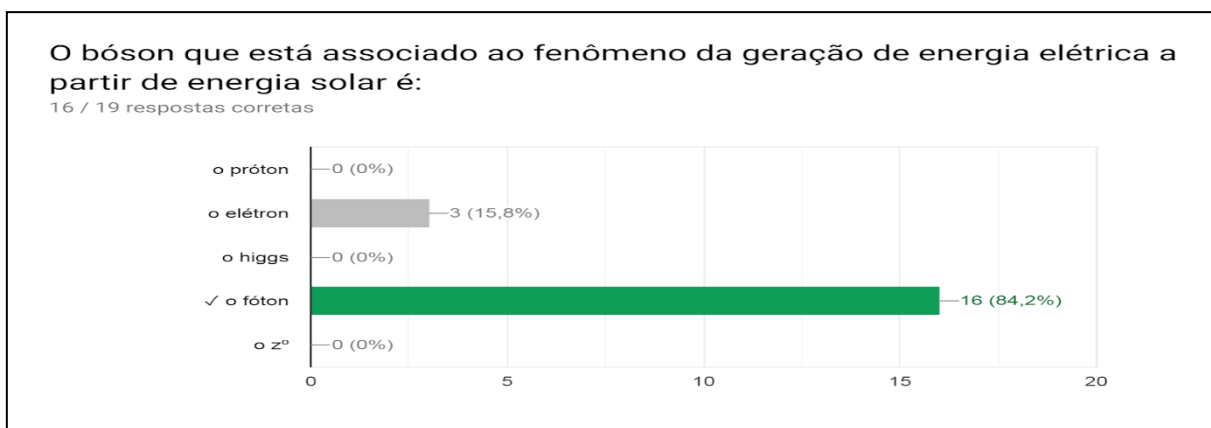
Fonte: Arquivo pessoal do autor.

Em relação a compreensão sobre as quatro forças fundamentais da natureza, os gráficos 06 e 07 mostram a modificação dos conhecimentos prévios da maioria dos estudantes. Da visão restritiva sobre as interações na matéria, baseadas nas lições da física clássica, encontradas na primeira aplicação, os discentes adotaram na segunda a concepção defendida pelo modelo padrão,

após leitura da narrativa em quadrinhos. Tal fato é extraído da elevação dos índices de respostas corretas de 31,6% para 94,7%.

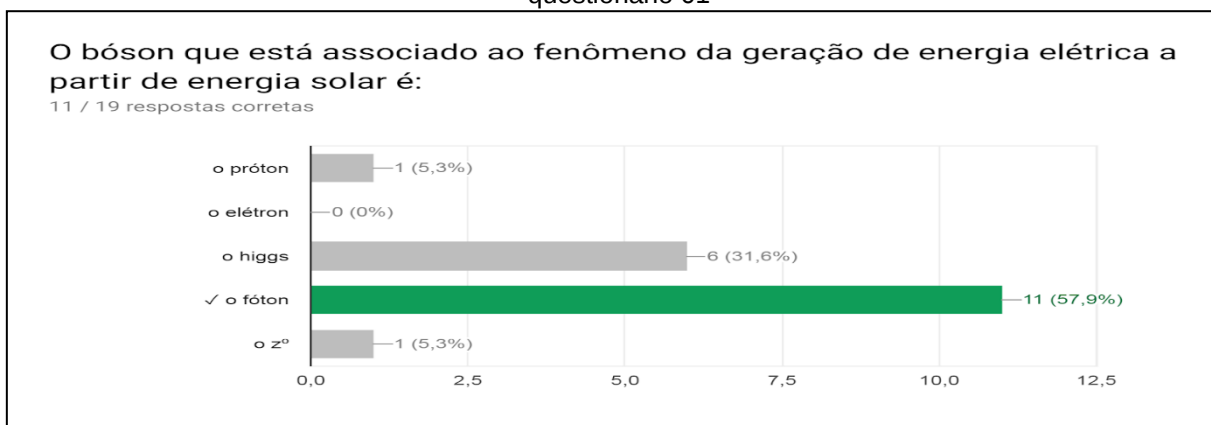
d) Padrões de respostas referente a questão 04

Gráfico 8: Padrão de respostas da questão 04, referente a primeira aplicação do questionário 01.



Fonte: Arquivo pessoal do autor.

Gráfico 9: Padrão de respostas da questão 04, referente a segunda aplicação do questionário 01



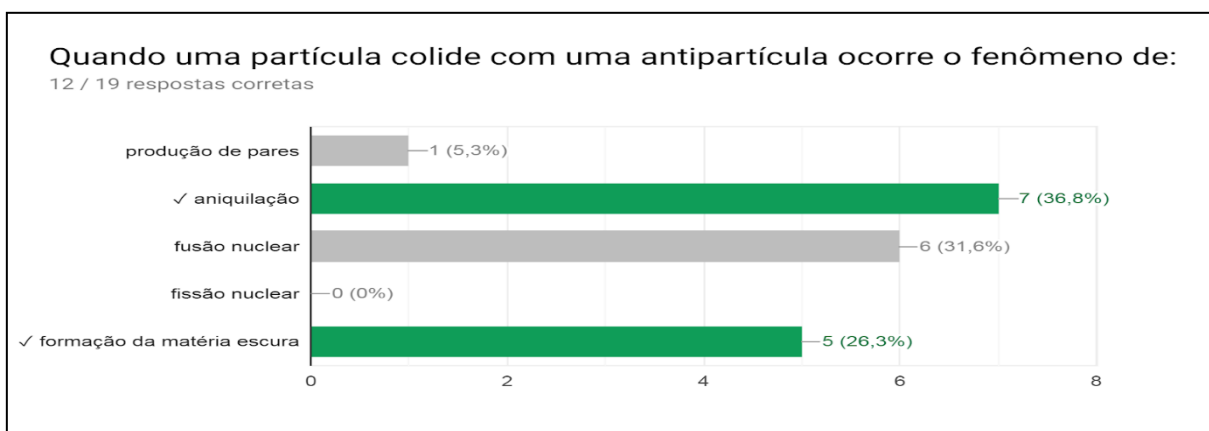
Fonte: Arquivo pessoal do autor.

Há um fato interessante na observação do padrão de respostas da questão 04, quando comparamos a primeira e segunda aplicações. No pré-teste, 84,2% dos alunos responderam corretamente. Uma conclusão possível é que a maioria deles associaram o termo “fóton” aos conhecimentos prévios sobre células fotovoltaicas e geração de energia solar, debatidos no ambiente escolar

desde o ensino fundamental. No pós-teste, temos uma surpresa, ao invés de manterem a concepção inicial que era correta, uma parte dos estudantes que haviam escolhido a alternativa correta, mudaram para a terceira alternativa. Uma hipótese a ser verificada para o ocorrido é que, após a leitura do produto educacional, os estudantes associaram à geração de energia elétrica ao bóson de Higgs, que é na verdade responsável por atribuir massa à matéria. Esta percepção está bem nítida no percentual apresentado no gráfico 08, com percentuais de 31,6% para o bóson de Higgs e 57,9% para o fóton.

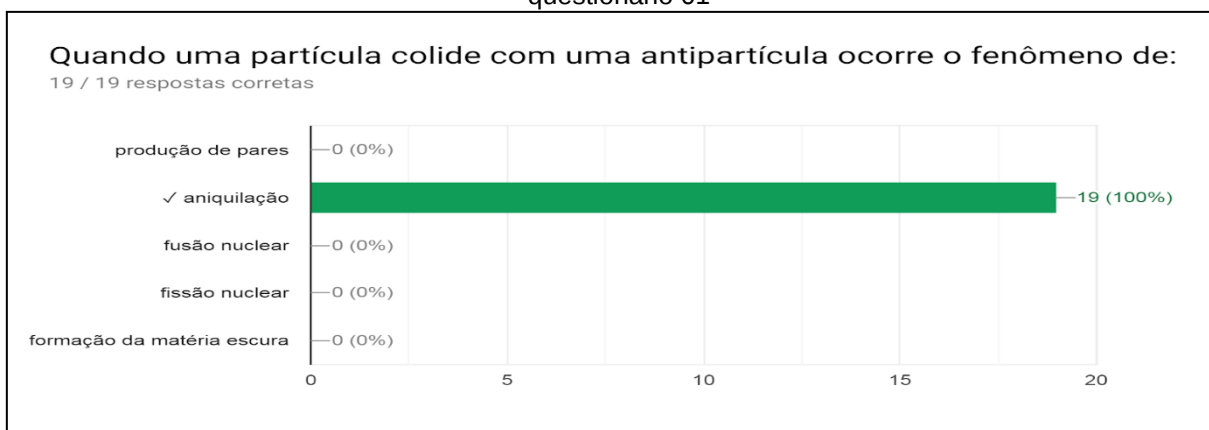
e) Padrões de respostas referente a questão 05

Gráfico 10: Padrão de resposta da questão 05, referente a primeira aplicação do questionário 01.



Fonte: Arquivo pessoal do autor.

Gráfico 11: Padrão de respostas da questão 5, referente a segunda aplicação do questionário 01

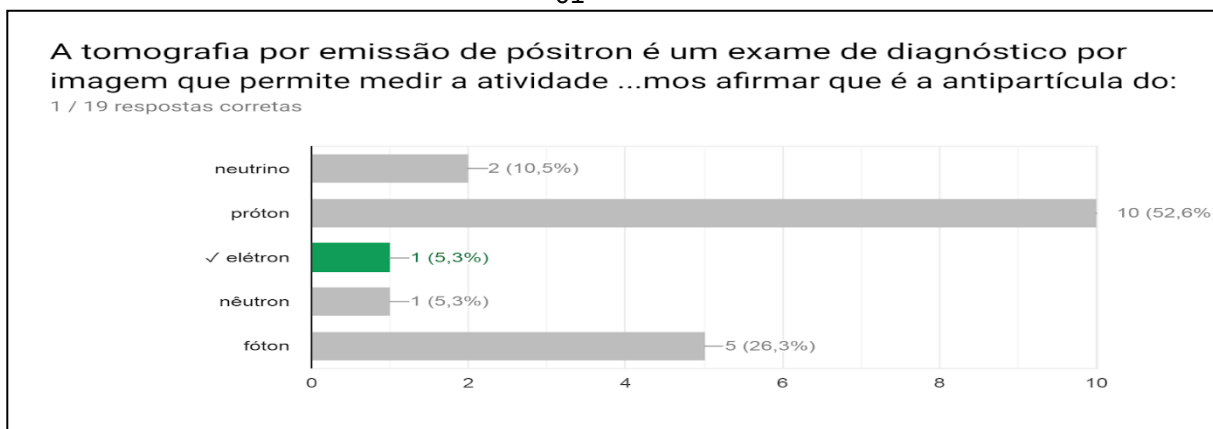


Fonte: Arquivo pessoal do autor.

O gráfico 10 traz uma informação equivocada em relação a resposta correta. Houve uma duplicidade no gabarito no momento de gerar o questionário eletrônico, que foi respondido pelos discentes. No entanto, o mesmo não aconteceu na segunda aplicação. Este fato não altera a análise dos dados nem interfere na pesquisa, pois os estudantes não tiveram acesso ao gabarito na primeira nem na segunda aplicação do questionário. A percepção correta do fenômeno abordado na questão, depois da leitura dos quadrinhos é externada por 100% dos estudantes.

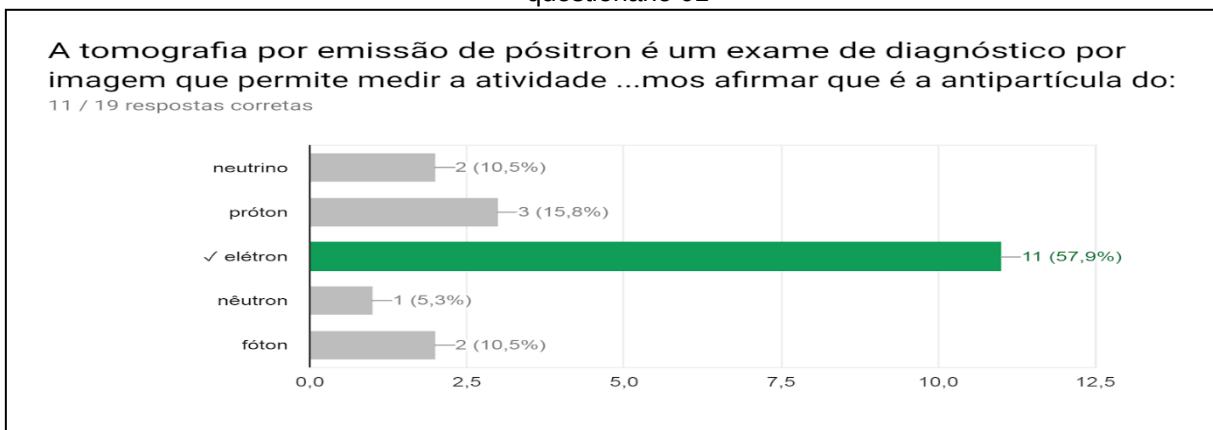
f) Padrões de respostas referente a questão 06

Gráfico 12: Padrão de respostas da questão 6, referente a primeira aplicação do questionário 01



Fonte: Arquivo pessoal do autor.

Gráfico 13: Padrão de resposta da questão 6, referente a segunda aplicação do questionário 01

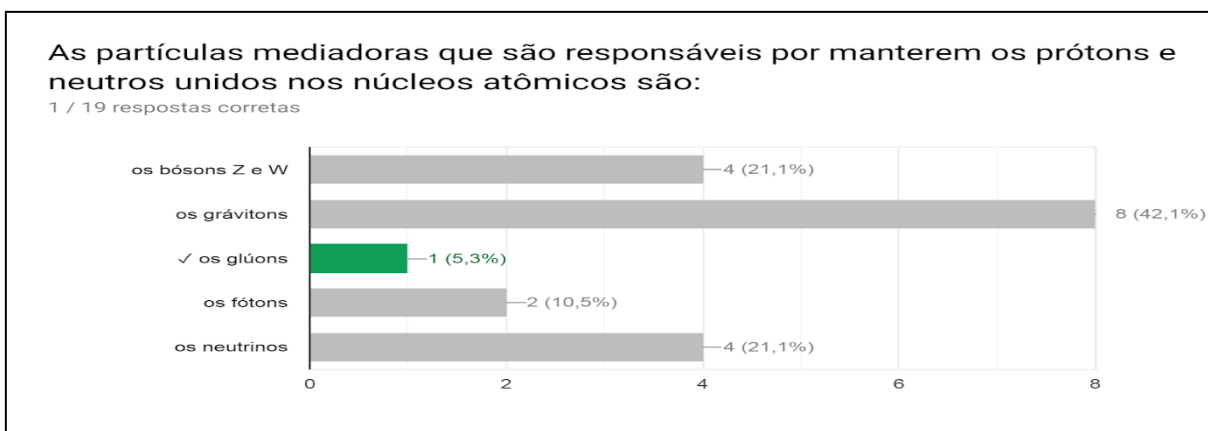


Fonte: Arquivo pessoal do autor.

Na questão 06, observa-se que na primeira aplicação, 52,6% dos estudantes associam os termos próton e pósitron para escolher a alternativa. Após a leitura da HQ, há uma melhor compreensão do conceito de antipartículas. O fundamento para esta conclusão está na significativa elevação dos índices percentuais de 5,3% para 57,9% na seleção da resposta correta.

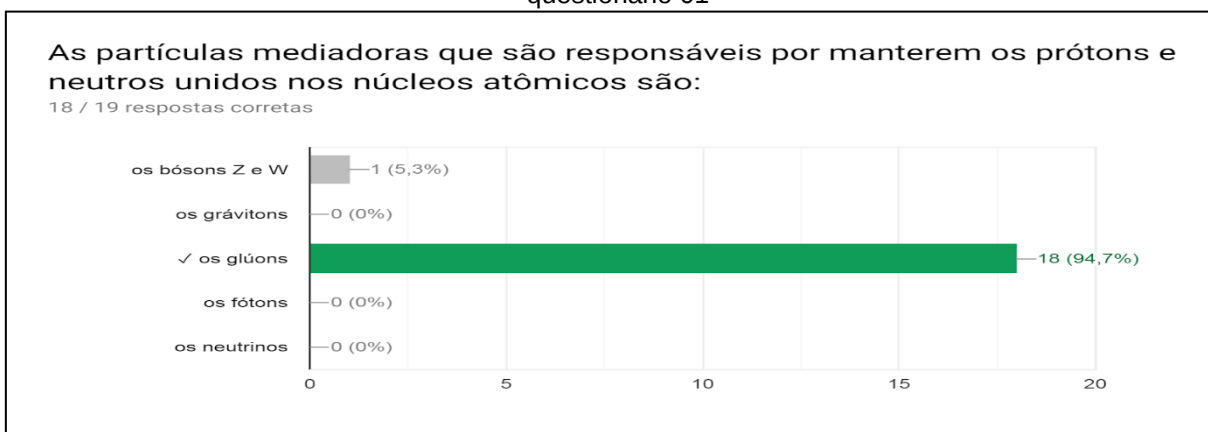
g) Padrões de respostas referente a questão 07

Gráfico 14: Padrão de resposta da questão 7, referente a primeira aplicação do questionário 01.



Fonte: Arquivo pessoal do autor.

Gráfico 15: Padrão de resposta da questão 7, referente a segunda aplicação do questionário 01

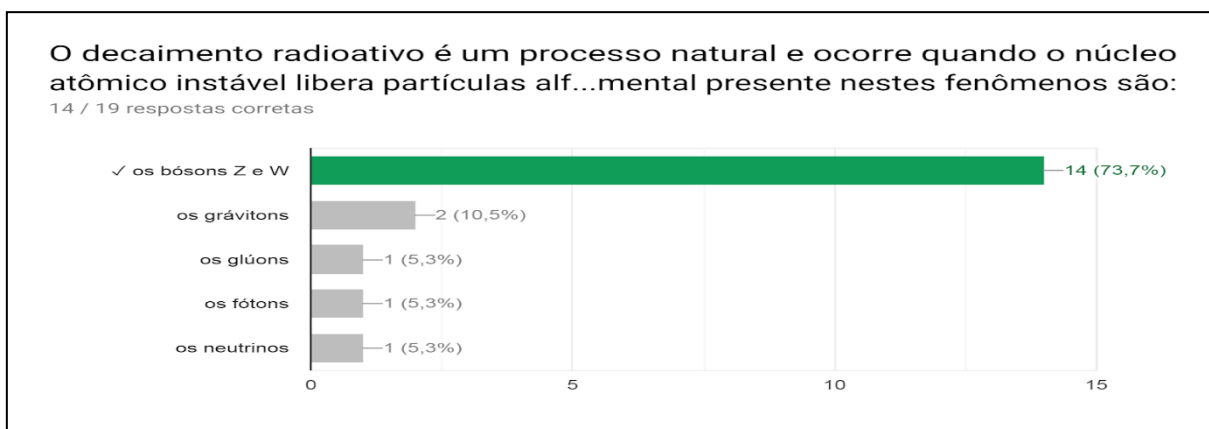


Fonte: Arquivo pessoal do autor.

Na sétima questão, percebemos através dos gráficos 14 e 15 que houve uma alteração no percentual de escolha da alternativa correta, de 5,3% para 94,7%. O que é possível inferir desses dados é que a maioria dos estudantes desconhecia a temática e responderam de forma aleatória, fenômeno este que não se repetiu após a leitura da história em quadrinhos sobre física de partículas.

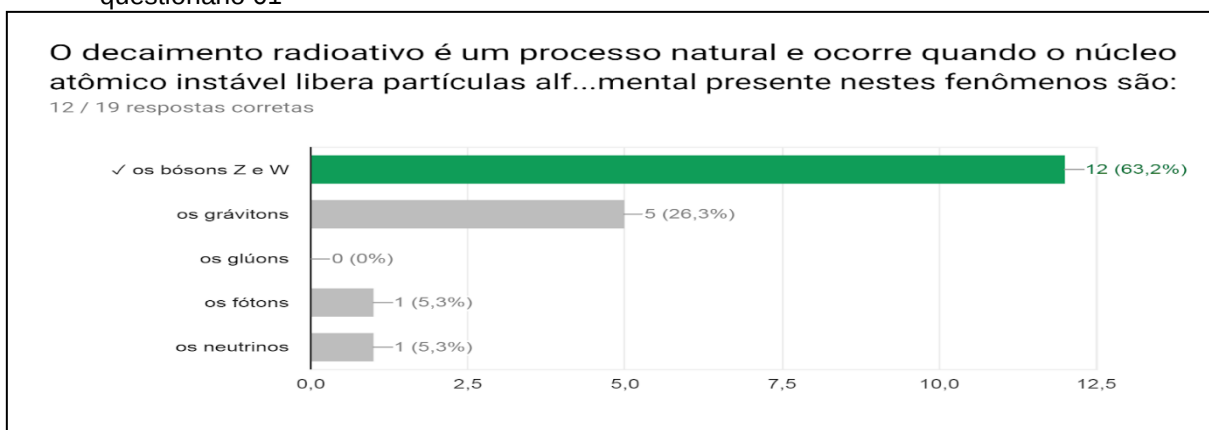
h) Padrões de respostas referentes a questão 08

Gráfico 16: Padrão de respostas da questão 8, referente a primeira aplicação do questionário 01



Fonte: Arquivo pessoal do autor.

Gráfico 17: Padrão de respostas da questão 8, referente a segunda aplicação do questionário 01

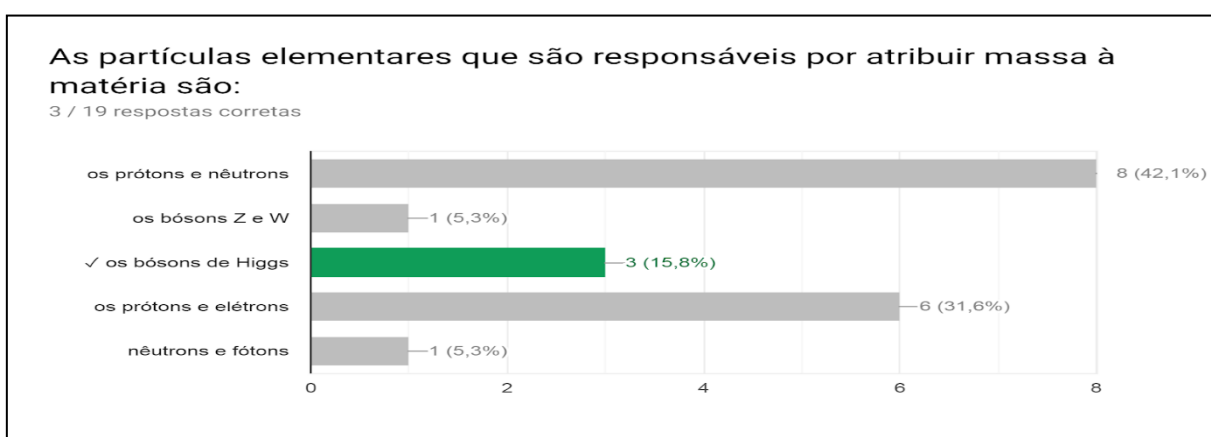


Fonte: Arquivo pessoal do autor.

Nesta questão, temos outro fato intrigante, houve uma redução de 73,2% para 63,2% do número de alunos que optaram pela alternativa correta. A este fato atribui-se a interpretação gerada pelos discentes a partir da expressão “núcleo atômico”, atribuindo-se este fato a conclusão equivocada sobre o papel dos glúons e das partículas W e Z no núcleo atômico.

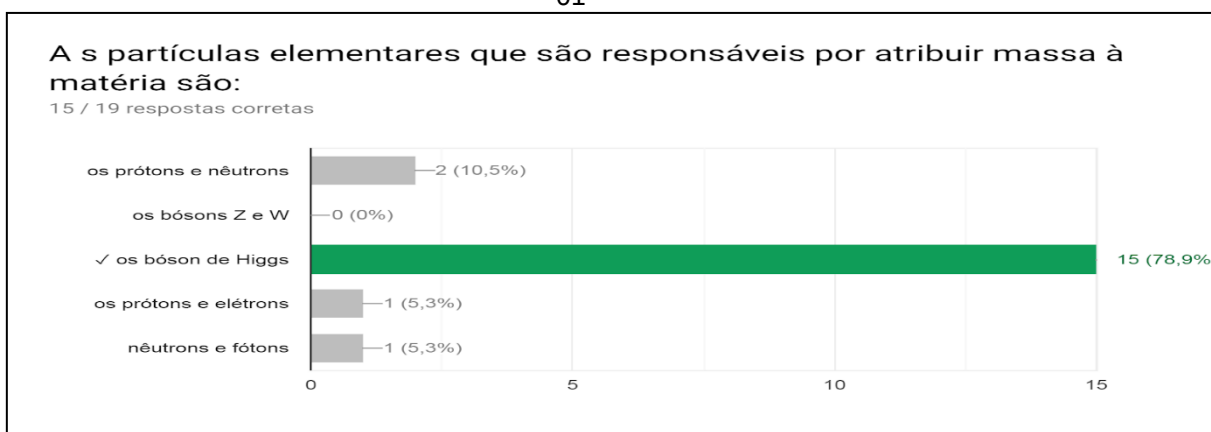
i) Padrões de respostas referente a questão 09

Gráfico 18: Padrão de respostas da questão 09, referente a primeira aplicação do questionário 01



Fonte: Arquivo pessoal do autor.

Gráfico 19: Padrão de respostas da questão 09, referente a segunda aplicação do questionário 01

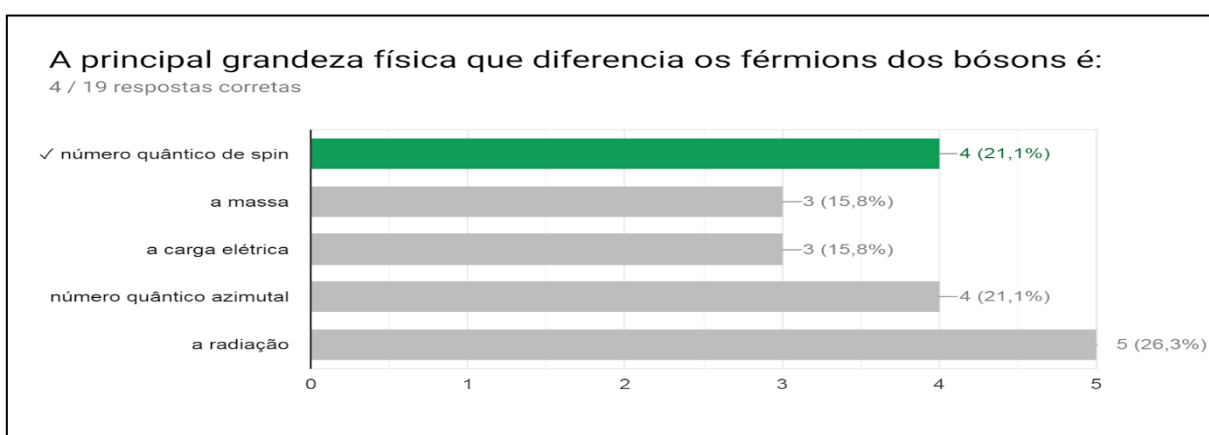


Fonte: Arquivo pessoal do autor.

O gráfico 18 ilustra, mais uma vez, a concepção inicial dos estudantes sobre a estrutura da matéria. Esta concepção é própria de egressos do ensino fundamental e está representada por 73,7% dos estudantes. O que corresponde a soma dos percentuais do número de escolhas da primeira e quarta alternativas. Já no gráfico 19, notamos a modificação dos conceitos iniciais apresentados pelos alunos, após o contato com a HQ. Esta evolução é representada pelo percentual de 78,9% encontrado na escolha da assertiva correta no pós-teste.

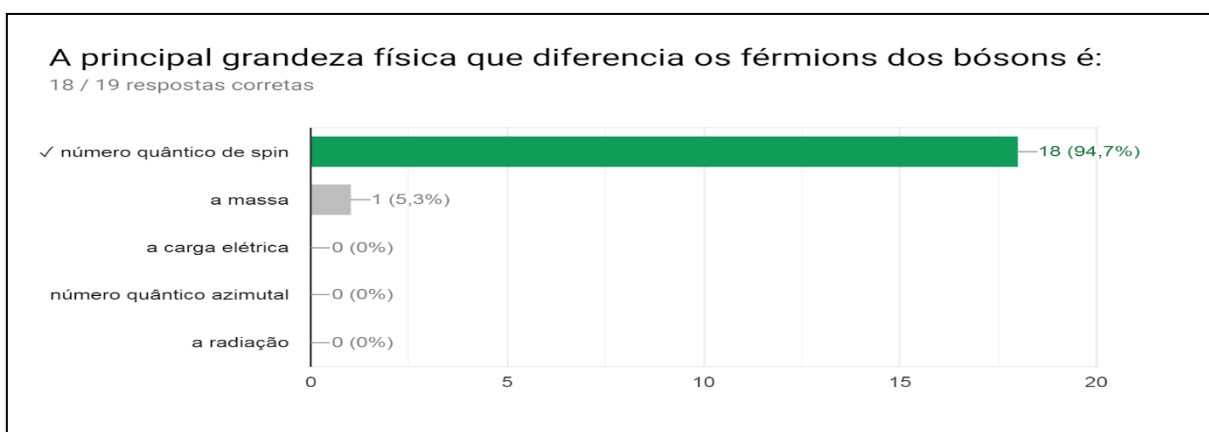
j) Padrões de respostas referente a questão 10

Gráfico 20: Padrão de respostas da questão 10, referente a primeira aplicação do questionário 01



Fonte: Arquivo pessoal do autor.

Gráfico 21: Padrão de respostas da questão 10, referente a segunda aplicação do questionário 01



Fonte: Arquivo pessoal do autor.

Na última questão, a análise do gráfico 20 aponta para um desconhecimento inicial do tema pela maioria dos discentes. Este argumento é pautado na observação da distribuição quase equitativa das respostas escolhidas pelos alunos. Após o contato o recurso educacional, há uma construção cognitiva em concordância com a teoria do modelo padrão de partículas encontrada por 94,7%.

4.2. Análise dos padrões das respostas do questionário 02.

Esta segunda parte da pesquisa é composta da análise dos padrões de resposta da parte objetiva e das contribuições individuais dos estudantes que participaram da resolução do questionário 02. Os quesitos propostos nesta atividade versam sobre uma investigação acerca da impressão e da opinião dos discentes em relação à história em quadrinhos logo após a realização do pós-teste da primeira etapa. É importante esclarecer que nas duas últimas questões, como se tratava de respostas subjetivas, nem todos os estudantes optaram por responder.

a) Padrões de respostas referentes a questão 01

Gráfico 22: Padrão de respostas da questão 01, referente do questionário 02



Fonte: Arquivo pessoal do autor.

No gráfico 22, notamos que a forma como a narrativa foi apresentada, simulando uma possível situação cotidiana dos estudantes, foi aprovada por todos.

b) Padrões de respostas referentes a questão 02

Gráfico 23: Padrão de respostas da questão 02, referente a aplicação do questionário 02

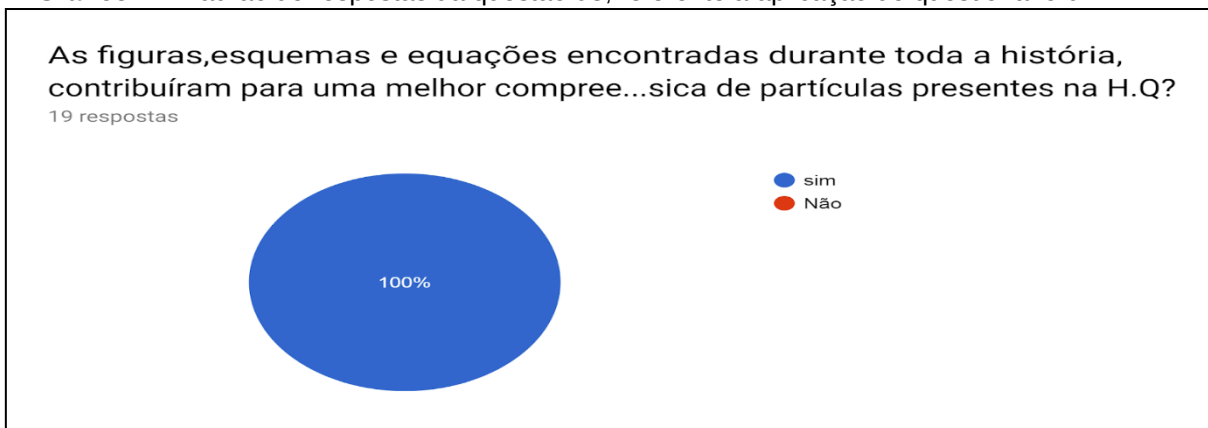


Fonte: Arquivo pessoal do autor.

Observamos, no gráfico 23, que a proposta de mesclar referências a filmes, séries, desenhos animados e HQs de super-heróis, encontra receptividade no público adolescente.

c) Padrões de respostas referentes a questão 03

Gráfico 24: Padrão de respostas da questão 03, referente a aplicação do questionário 02.

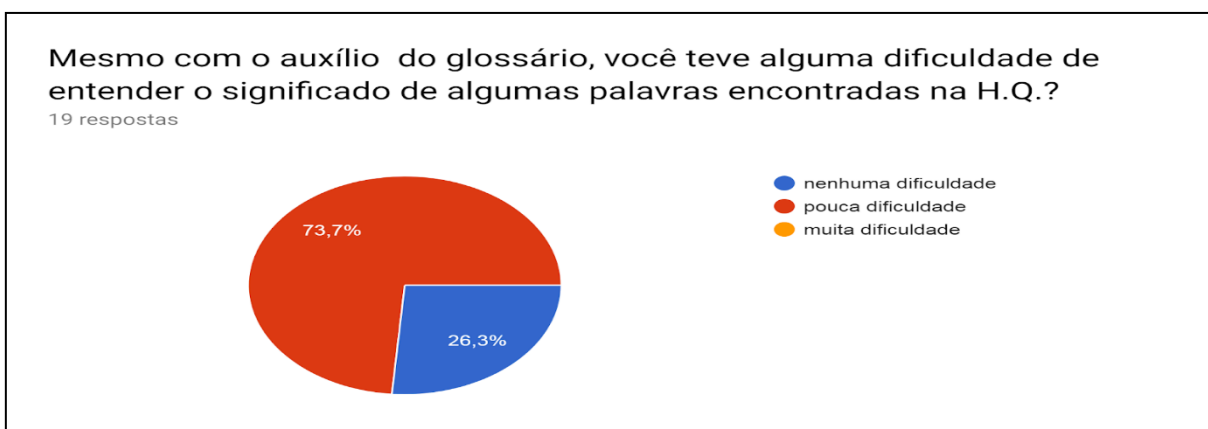


Fonte: Arquivo pessoal do autor.

A ideia de inserir quadros ilustrativos, esquemas e figuras, sobre a temática, no enredo da história, contribui, na opinião dos discentes, para uma melhor compreensão dos conteúdos abordados, conforme resultado do gráfico 24.

d) Padrões de respostas referente a questão 04

Gráfico 25: Padrão de respostas da questão 04, referente a aplicação do questionário 02

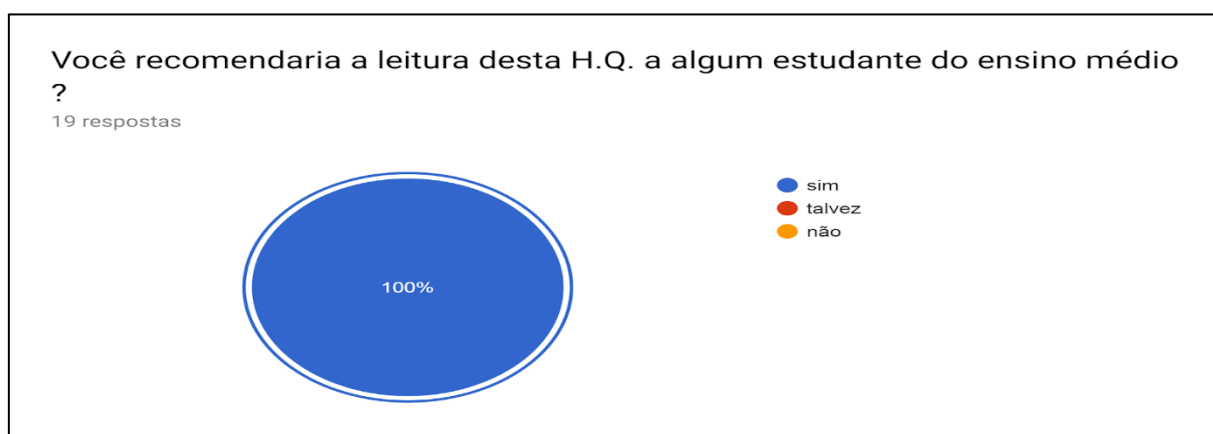


Fonte: Arquivo pessoal do autor.

No gráfico 25, embora denote pela sua leitura, que a maioria dos estudantes encontraram pouca dificuldade em entender o significado dos vocábulos presentes na HQ, o fato é que tal dificuldade existiu. Com 73,7% dos alunos apontando esta alternativa, é notável a necessidade de aprimoramento do vocabulário no sentido de torná-lo mais compreensível ao público alvo.

e) Padrões de respostas referente a questão 05

Gráfico 26: Padrão de respostas da questão 05, referente a aplicação do questionário 02.



Fonte: Arquivo pessoal do autor.

O resultado mostrado no gráfico 26, revela que os estudantes aprovaram a proposta de tratar física de partículas com o auxílio de HQs, de tal forma, que a recomendariam a outros colegas.

f) Contribuições individuais referente a questão 06

Questão 6: Quais os aspectos positivos, em sua opinião, encontrados nesta H.Q.?

Tabela 01: Contribuições individuais referente a questão 06 do questionário 02

ESTUDANTE	CONTRIBUIÇÃO
B.C.L.	Uma situação habitual de alunos do ensino médio, despertar de interesse de conhecer o assunto, mistura de entretenimento com conhecimento
K.M.L.F.	É uma maneira interativa, criativa e divertida, na qual podemos aprender e até mesmo ampliar nosso conhecimento nessa área.
M.E.M.A.	O modo em que foi transmitido e passado o assunto para o leitor, uma forma rápida e curta, porém explicativa.
G.G.S.P.	É uma forma divertida e descontraída para melhor entendimento, fugindo da rotina.
S.A.M.	Desperta a curiosidade do estudante.
B.K.S.R.	Conhecimento.
G.G.S.	Ajudaria no entendimento do assunto, onde muitos alunos têm dificuldade de entender.
N.F.C.P.	Fácil vocabulário, imagens bem relacionadas, enredo envolvente.
D.F.S.	A dinamicidade na qual os conceitos são passados aos leitores
R.L.B.L.	As imagens e o modo como foi abordado uma conversa com o professor, nos leva ter uma ideia diferente, além de ter um diálogo com o mesmo e ir buscá-lo sem medo quando estiver precisando de ajuda em algo, como também a forma de explicação que em interação com todos tem uma grande desenvoltura.
L.J.S.S.	A forma da narrativa para distrair e aprender um assunto complexo de uma forma mais fácil. Os desenhos e esquemas colaboram demais para a compreensão. A linguagem é ideal para o público alvo.
J.M.L.S.	Informações úteis sobre o universo em que vivemos (no caso ao que refere ao quadrinho: o universo das partículas), perfeição cada vez mais o conhecimento em física das partículas.
L.V.S.	O texto possui uma linguagem clara e coloquial, perfeita para o seu respectivo público alvo. O assunto relacionado a partículas é complexo e minucioso, e na HQ foi abordado de forma dinâmica e esclarecedora. No geral, um excelente trabalho.
A.M.G.A.	Até para quem não gosta muito de ler, acaba lendo sem problemas HQs. Então a ideia de usar o HQ é ótima, por estar ilustrando, saindo mais da rotina de sala de aula, de ouvir e tentar entender algo. Na HQ é muito bom até por poder reler, sendo o glossário uma boa ideia.

I.A.O.	É uma forma descontraída de aprender e por apresentar uma linguagem fácil se torna mais simples o entendimento de uma matéria antes julgada difícil.
M.C.E.S.	A temática é ótima, desperta o interesse na hora da leitura, isso é ÓTIMO!
R.S.M.	Facilita a compreensão. Devido a transcrição do assunto de forma mais descontraída e atrativa.

Fonte: Arquivo pessoal do autor.

As respostas subjetivas apresentadas pela tabela 01 expõem, mais uma vez, a boa receptividade que o produto educacional teve junto ao público adolescente. Os principais fatores que proporcionaram este resultado foram a temática, a estrutura, a dinâmica e a ilustração da narrativa, além da escolha de personagens que refletem traços de personalidade característicos do público leitor.

g) Contribuições individuais referente a questão 07

Questão 7: Quais dicas e sugestões você daria para o aperfeiçoamento da H.Q.?

Tabela 02: Contribuições individuais referente a questão 07 do questionário 02

ESTUDANTE	CONTRIBUIÇÃO
B.C.L.	uma linguagem mais usual que possa substituir os termos mais avançados
K.M.L.F.	nenhuma. Ela está ótima.
M.E.M.A.	a cor do H.Q. poderia despertar mais atenção, e o aumento de palavras do glossário.

G.G.S.P.	melhor explicação das equações e esquemas
B.K.S.R.	Mais diálogos além dos que já tem
G.G.S.	Mais quadrinhos e ser mais colorido para chamar atenção
N.F.C.P.	colocaria menos informações de uma vez só.
D.F.S.	Nenhuma, está muito boa do jeito que está
L.J.S.S.	Ampliação do glossário
J.M.L.S.	Acrescentar mais personagens, mais 2 (dois) ou 3 (três), para a maior complementação do assunto.
L.V.S.	Sem construções a acrescentar. O trabalho simplesmente está ótimo.
A.M.G.A.	Trazer uma história mais longa, para poder explicar com um pouco mais de detalhes, claro sempre trazendo figuras e referências, assim como do filme guerra infinita poderia trazer ainda mais referências para usar como exemplo para explicação do assunto. Como eu me interesse pelo assunto da física de partículas não foi tão difícil para mim, mas creio que o glossário poderia trazer ideias um pouco mais simples. Talvez também poderia comentar ou melhor indicar lugares (sites, textos, e etc.) que fale sobre o assunto, como canal ciência todo dia, ou series como cosmo, que tem relação com o assunto e viria para acrescentar em conhecimento
I.A.O.	ser colorida, acho que usar alguns exemplos do cotidiano também seria interessante.
M.C.E.S.	ser colorido
R.S.M.	Na verdade, creio que em minha visão não necessita de aprimoramento e sim de mais histórias, por que mal tive contato e já quero mais.

Fonte: Arquivo pessoal do autor.

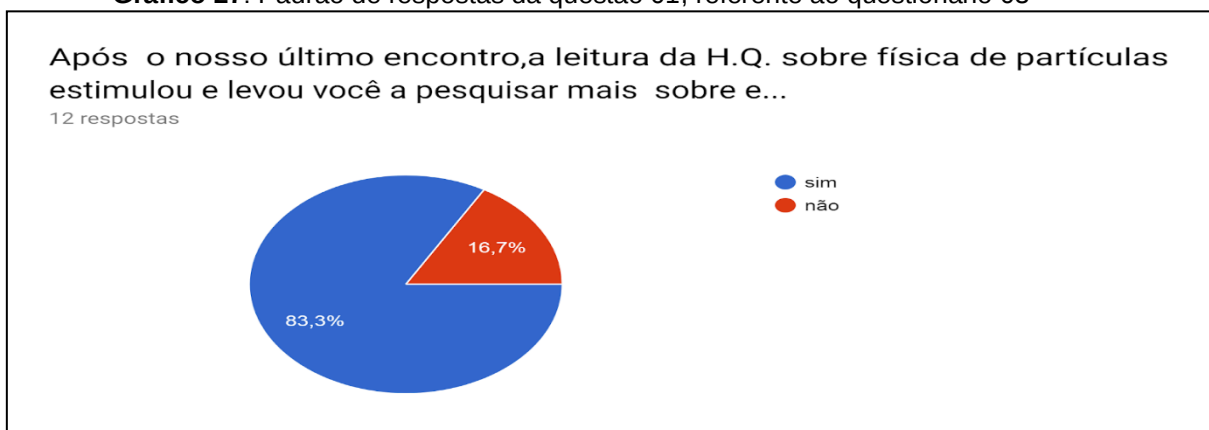
As contribuições individuais contidas na tabela 02, são fundamentais para o aperfeiçoamento deste produto. Entretanto, as propostas apresentadas pelos estudantes não se restringem apenas à esta HQ. Apontam também para melhorias das estratégias futuras sobre ao trabalho de Quadrinhos com a temática de física de partículas.

4.3. Análise dos padrões das respostas do questionário 03.

A terceira etapa deste estudo, realizada dias após a leitura do produto educacional, apresenta os possíveis impactos causados na postura dos estudantes em relação a disposição e a curiosidade de se aprofundar nos temas trazidos pela HQ. Não houve a participação de todos os estudantes das etapas anteriores. Apenas 12 dos 19 iniciais se dispuseram em participar desta etapa em virtude de outras atividades escolares. Apenas dois estudantes optaram por não responder à questão subjetiva.

a) Padrões de respostas referente a questão 01

Gráfico 27: Padrão de respostas da questão 01, referente ao questionário 03



Fonte: Arquivo pessoal do autor.

O gráfico 27 aponta para o interesse dos discentes e a inclinação destes, no sentido de prosseguir numa pesquisa individual para melhor se apropriar dos conceitos de física de partículas abordadas na HQ.

b) Contribuições individuais referente a questão 02

Questão 02: Se você pesquisou sobre este assunto, comente um pouco sobre suas descobertas.

Tabela 03: Contribuições individuais referente a questão 06 do questionário 03

ESTUDANTE	CONTRIBUIÇÃO
B.K.S.R.	Uma melhor explicação dos nomes que não consegui entender (dos elementos) exemplos: quarks e léptons
G.G.S.	Achei bem interessante a parte de que começaram as pesquisas sobre as partículas na Grécia e a primeira teoria foi do filósofo Tales de Mileto.
N.F.C.P.	Me estimulou a pesquisar sobre o assunto, de fato é muito interessante, porém ainda não pesquisei.
D.F.S.	Sobre os quarks e os pósitrons que foram descobertos a partir de experimentos que usavam um acelerador de partículas, que é uma máquina usada para gerar colisão entre as partículas e desse modo é capaz de gerar novos elementos devido a grande liberação de energia; Os férmions sofrerem com a ação de forças, os bósons não; Os férmions serem divididos em léptons (Carga inteira) e Quarks (carga fracionária).
R.L.B.L.	Uma delas foi o ano que essas partículas foram descobertas 1932, que apesar de ser um ano sem nenhum tipo de tecnologia, os físicos conseguiam achar soluções inovadoras e também que existem 14 partículas.
J.M.L.S.	Bem, eu já sou um "mine pesquisador" nessa área, algumas séries sobre cosmos e alguns livros me incentivaram na busca pelo conhecimento sobretudo na área da física. Acho muito atrativo principalmente pesquisas referentes ao bóson de Higgs, como uma maneira de explicar de como é formado a matéria. Porém, meu interesse foi despertado em relação à física das partículas depois da leitura desse H.Q. e apesar de estar sempre procurando sobre, nunca tinha visto uma forma mais simples e direta de tratar do assunto (física das partículas) senão em uma revista H.Q.
L.V.S.	Esse assunto me lembrou de uma teoria que ouvi há um tempo atrás, "a teoria das cordas". Eu havia lido brevemente sobre ela em uma rede social, e falava sobre partículas das quais algumas eu nunca tinha ouvido falar, como os "quarks". Após a leitura do H.Q. eu me recordei da teoria, e ela passou a fazer muito mais sentido. Assim que cheguei pesquisei sobre ela, achei muito interessante, até conversei sobre com um amigo.

A.M.G.A.	Como dito eu gosto bastante do assunto, mas estava meio parada. Depois do HQ eu fui aos canais do YouTube que conheço sobre ciência, no site de astronomia e encontrei sobre o decaimento beta, neutrinos, buraco negro, a camada de Higgs. Que eu acho tudo bastante interessante.
I.A.O.	Pesquisei principalmente sobre o Bóson de Higgs e achei muito interessante.
M.C.E.S.	Pesquisei mais sobre o mecanismo de Higgs que é ele que estuda a massa entre outras coisas

Fonte: Arquivo pessoal do autor.

A tabela 03 mostra o impacto contundente e positivo que o produto educacional causou nos estudantes. Perceber como eles reagem dias após terem vivenciado a experiência pedagógica proposta é muito importante. Este tipo de retorno por parte dos discentes se converte em uma ferramenta muito eficiente para estruturar ações e metodologias futuras em sala de aula.

4.4. Discussão geral dos resultados.

As três etapas avaliativas desta pesquisa, retratam um alinhamento entre as teorias pedagógicas estudadas e os resultados obtidos. A primeira dessas etapas revelou uma sintonia entre o e a evolução do desempenho positivo dos estudantes na resolução do questionário 01 e as bases teóricas da aprendizagem e do desenvolvimento.

Conforme sustentam Testoni e Abib (2003), as histórias em quadrinhos estão presentes na vivência cultural dos alunos e isto as credencia como um instrumento de ensino, como um produto educacional pela sua proximidade do educando. Introduzir, com este tipo de abordagem artística os conceitos físicos sobre a classificação e as características de partículas elementares, as forças

fundamentais da natureza e as grandezas físicas pertinentes as interações apresentadas no modelo padrão de partículas elementares, são um convite, nas palavras de Abdalla (2016) “a abrir bem os olhos de sua alma investigadora, a ampliar sua imaginação ao infinito e deixarem fluir novos conceitos[...]”.

Como continuidade da correlação entre os fundamentos teóricos da pesquisa e os resultados apresentados, temos na segunda etapa da pesquisa, através do questionário 02, uma demonstração das contribuições e críticas trazidas pelo discentes acerca do instrumento didático proposto. Ainda segundo Testoni e Abib (2003), a característica mais importante desenvolvida pelos leitores é a imaginação. Como exemplos de habilidades utilizadas e desenvolvidas pelos discentes, de acordo com os autores, durante e após a leitura da HQ, estão: a análise; a síntese; a classificação; a decisão e outras atividades cognitivas de cunho crítico, reflexivo e dissertativo.

Na terceira etapa, a postura dos discentes demonstrada na leitura dos padrões de respostas do questionário 03, aponta para uma receptividade do produto educacional, que motiva e instiga os estudantes a adotarem um espírito investigativo que transcende a sala de aula. Esta ação instigadora e motivadora das histórias em quadrinhos dialogam com as duas condições essenciais, defendidas por Moreira (1999, p.164) para que a aprendizagem significativa ocorra: “um material potencialmente significativo e que o aprendiz esteja disposto a relacionar o novo conceito com os seus subsunçores”.

O exercício da metacognição e da abstração cognitiva, por meio da assimilação e acomodação, se fez presente na postura e na exteriorização dos padrões de resposta dos discentes, conforme exposto por Correa (2017), imanescentes à faixa etária do público alvo, na perspectiva Piagetiana.

Após a conclusão da segunda aplicação, agora tendo posse de seu resultado individual, os alunos a refletiram sobre seus conhecimentos iniciais e sobre os fundamentos que os fizeram pensar desta ou daquela forma. Soma-se a esta atitude a disposição individual de continuar investigando sobre o tema trabalhado em sala. Trata-se, portanto, de uma clara consequência de uma mente inquieta e instigada a refletir sobre temas complexos.

O comportamento apresentado pelos alunos, durante este estudo, demonstra também o alinhamento prático-teórico com a teoria

sociointeracionista de Vygotsky (LUCCI,2006) e com a aprendizagem significativa de Ausubell (MOREIRA,2011). Em relação a óptica sociointeracionista, nota-se a influência que as histórias e discussões presenciais e em redes sociais, sobre obras atreladas à ficção científica, e com temas de física de partículas envolvendo super-heróis, exercem no desenvolvimento cognitivo dos adolescentes. Estes fatos corroboram para a formação ou reestruturação dos conhecimentos prévios e que possibilitam, com o auxílio de um planejamento didático emancipatório, uma aprendizagem verdadeiramente significativa.

E finalmente temos com esta pesquisa mais um exemplo prático dos ensinamentos dos grandes defensores contemporâneos do uso de quadrinhos em sala de aula. A ótima recepção, o envolvimento e a análise crítica dos discentes em relação a este produto educacional, em confirmar as lições, dentre outros expoentes da área, do professor Waldomiro Vergueiro. O uso dos quadrinhos na educação, e, em especial, no ensino de física de partículas em sala de aula, revela-se uma estratégia pedagógica, para aproximar cada vez mais os estudantes dos temas científicos atuais e dos desafios e oportunidades futuras, envolvendo esta fascinante área do conhecimento científico.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A estratégia da construção dos conceitos de física de partículas através da leitura de uma história em quadrinhos, encontrou uma ótima recepção por parte dos estudantes do ensino médio que participaram deste estudo. O entusiasmo apresentado pelos discentes, em todas as etapas, da pesquisa superaram as melhores expectativas. Tal fato demonstra a importância de construir um planejamento pedagógico que busque interpretar e dialogar com as vivências do público do ensino médio, conectando-os com os conhecimentos físicos clássicos, modernos e contemporâneos.

A criação de uma equipe de alunos consultores foi muito importante para o desenvolvimento do produto educacional. Embora eles fossem inicialmente responsáveis pela construção da HQ e apesar de terem, de forma espontânea e unânimes, declinado de realizar tal tarefa sob a alegação de limitações técnicas, as contribuições sobre a linguagem, os cenários e sobre a validação das etapas da confecção do produto educacional foram indispensáveis.

Diante da inexperiência técnica e para um desafio dessa magnitude, e da grande apreensão sobre a expectativa de naufragar a proposta de confeccionar uma história em quadrinhos, a participação dos estudantes de Design da UFPE/CAA nas oficinas e na ilustração do produto resultou numa experiência muito positiva em relação a ideia inicial.

Os resultados obtidos através da aplicação do produto educacional, a experiência adquirida pelos alunos consultores e a parceria firmada com os referidos graduandos da UFPE, credenciam a continuação e a ampliação desta proposta. Dentre as possibilidades futuras avançadas estão a criação de outras narrativas em quadrinhos sobre a história e aplicações da física de partículas e a transformação destas em animações.

Outro desafio muito interessante é estabelecer mecanismos de coesão entre a física experimental e a física teórica por meio de HQs. Apresentar a modelagem e a linguagem matemática próprias de temas e problemas da física através deste recurso artístico, também é uma proposta futura latente.

REFERÊNCIAS

ABDALLA, M.C.B. **O Discreto Charme das Partículas Elementares** .2 ed. São Paulo: Livraria da Física, 2016.

ARENDT, Hannah. **Entre o passado e o futuro**. Tradução Mauro W. Barbosa de Almeida. São Paulo: Perspectiva, 1972.

ATKINS, P. & JONES, L. **Princípios de Química: Questionando a vida moderna e o meio ambiente**. 5 ed. Porto Alegre: Bookman, 2012.

BRASIL. Ministério da Educação. **Base Nacional Comum Curricular (BNCC)**. Brasília: Ministério da Educação, 2018. Disponível em: http://basenacionalcomum.mec.gov.br/wpcontent/uploads/2018/12/BNCC_19dez2018_site.pdf. Acesso em: 08 jan. de 2019.

_____. Lei nº 9.394/96. **Lei de diretrizes e Bases da educação**. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/L9394.htm. Acesso em: 08 jan. de 2019.

CORRÊA, C. **A relação entre desenvolvimento humano e aprendizagem: perspectivas teóricas**. Disponível em : <http://www.scielo.br/pdf/pee/v21n3/2175-3539-pee-21-03-379.pdf>. Acesso em: 07 de dez. de 2018.

CARUSO, F.; OGURI, V. **Física moderna: origens clássicas e fundamentos quânticos**. Rio de Janeiro: Elsevier, 2006

CARVALHO, A. (org.). **Ensino de Ciências por Investigação: Condições para implementação em sala de aula**. 4. ed. São Paulo: Cenage Learning, 2013.

EISBERG, R.; RESNICK, R. **Física Quântica: átomos, moléculas, sólidos, núcleos e partículas**. Rio de Janeiro: Elsevier, 1979.

GASPAR, A. **Compreendendo a física, v. 3**. 2. ed. São Paulo: Ática, 2013

HALLIDAY, D.; RESNICK, R.; WALKER, J. **Fundamentos de física, vol. 4**. 10a ed. Rio de Janeiro, RJ: LTC, 2016.

HEWITT, P. G. **Física Conceitual**. 12a ed. Porto Alegre :Bookman, 2015.

LUCCI, M. **A Proposta de Vygotsky: A psicologia socio-histórica**. Disponível em: <https://www.ugr.es/~recfpro/rev102COL2port.pdf>. Acesso em :09 de dez. de 2018.

KANT, I. **Crítica da razão pura**. São Paulo: Ícone, 2007.

MAGALHÃES, H. **A mutação radical dos fanzines**. 2. ed. João Pessoa: Marca de Fantasia, 2016.

MARTINI, G.; SPINELLI, W.; REIS, H. C.; SANT'ANNA, B. **Conexões com a Física**, v. 1. São Paulo: Moderna, 2013.

MOREIRA M.A.; MASINI, E.A.F.S. **Aprendizagem significativa: a teoria de David Ausubel**. São Paulo :Moraes,1982.

_____. **Aprendizagem significativa: a teoria e textos complementares**. São Paulo: Livraria da Física, 2011.

_____. **Teorias da Aprendizagem**. São Paulo: Pedagogia e Universitária L.T.D.A.,1999.

_____. **Partículas e Interações**. Disponível em: <http://www.sbfisica.org.br/fne/Vol5/Num2/v5n1a03.pdf>. Acesso em :21 de abr. de 2017.

MORTIMER, E. **Linguagem e formação de conceitos no ensino de ciências**. Belo Horizonte: Editora UFMG, 2000.

NUSSENZVEIG, H. **Curso de física básica: ótica, relatividade e física quântica**. 1a ed. São Paulo: E. Blücher, 1998.

OSTERMANN, F.; CAVALCANTI, C. **Um Pôster para Ensinar Física da Partículas na Escola**. Disponível em : <https://lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/116427/000292692.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso em :21 de abr. de 2017.

OKUNO, E; YOSHIMURA, E. **Física das Radiações** .1 ed. São Paulo: Oficina de Textos. 2010.

PAIVA, F. **História em quadrinhos na educação**. Salvador: Quadro a Quadro, 2017.

REALE, G; ANTISERI, D. **História da filosofia: Filosofia pagã antiga**, v. 1. São Paulo: Paullus,2003.

TESTONI, L.; ABIB, M. **A utilização de histórias em quadrinhos no ensino de física – IV Encontro Nacional de Pesquisa em Ensino de ciências**. Bauru, nov. 2003.11f.

TIPLER, P.; MOSCA, G. **Física para Cientistas e Engenheiros - Vol. 3**, 6a ed. Rio de Janeiro: LTC, 2009.

_____.; LLEWELLYN, R. **Física Moderna**. 5 ed. Rio de Janeiro: LTC, 2010.

VERGUEIRO, W.; RAMOS, P (Org.). **Quadrinhos na educação: da rejeição à prática**. São Paulo: Contexto, 2015.

_____.; RAMA, A (Org.). **Como usar as histórias em quadrinhos na sala de aula**. São Paulo: Contexto, 2004.

_____.; SANTOS, R (Org.). **A linguagem dos quadrinhos: estudos de estética, linguística e semiótica**. São Paulo: Creative, 2015.

ZANETIC, J. **Física e cultura**. *Ciência e Cultura*, v.57, n.3, pp.21-24, 2005.

THORNTON, S; REX, A. MODERN. **Physics for Scientists and Engineers**. 4 ed. Boston (USA): Cengage Learning, 2013.

YOUNG, H. D.; FREEDMAN, R. A. **Física IV: Ótica e física Moderna**. 12 ed. São Paulo: Addison Wesley, 2009.

FIGURAS:

Figura 1. HEWITT, P. G. **Física Conceitual**. 12a ed. Porto Alegre :Bookman 2015, p.550.

Figura 2. Disponível em : <http://www.sbfisica.org.br/rbef/pdf/354301.pdf>. Acesso em: 16 de nov. de 2018

Figura 3. HEWITT, P. G. **Física Conceitual**. 12a ed. Porto Alegre :Bookman 2015, p.586.

Figura 4. AT ATKINS, P. & JONES, L. **Princípios de Química: Questionando a vida moderna e o meio ambiente**. 5 ed. Porto Alegre: Bookman, 2012, p.11.

Figura 5. Disponível em: http://www.sparkmuseum.com/BOOK_HERTZ.HTM . Acesso em: 16 nov. de 2018

Figura 6. YOUNG, H. D.; FREEDMAN, R. A. **Física IV: Ótica e física Moderna**. 12 ed. São Paulo: Addison Wesley, 2009, p.210.

Figura 7. HEWITT, P. G. **Física Conceitual**. 12a ed. Porto Alegre :Bookman 2015, p.607.

Figura 8. HEWITT, P. G. **Física Conceitual**. 12a ed. Porto Alegre :Bookman 2015, p.609.

Figura 9. AT ATKINS, P. & JONES, L. **Princípios de Química: Questionando a vida moderna e o meio ambiente**. 5 ed. Porto Alegre: Bookman, 2012, p.26.

Figura 10. <http://www.economist.com/blogs/graphicdetail/2012/07/daily-chart-1>. Acesso em 18 de nov. de 2018.

Figura 11. <https://www.bbc.com/portuguese/brasil-45335690>. Acesso em: 04 de jan. de 2019.

Figura 12. Disponível em: <http://www.scielo.br/pdf/rbef/v35n2/06.pdf>: Acesso em: 16 de nov. de 2018.

Figura 13. <http://www.sbfisica.org.br/fne/Vol6/Num1/charme.pdf>. Acesso em: 16 de nov. de 2018

Figura 14. Disponível em: <http://www.scielo.br/pdf/rbef/v28n4/a01v28n4.pdf> Acesso em :18 de nov. de 2018.

Figura 15. OKUNO, E; YOSHIMURA, E. **Física das Radiações** .1 ed. São Paulo: Oficina de Textos. 2010, p.162.

Figura 16. <http://www.sbfisica.org.br/fne/Vol5/Num2/v5n1a03.pdf>. Acesso em :21 de abr. de 2017

Figura 17. Disponível em: <http://www.scielo.br/pdf/rbef/v41n2/1806-9126-RBEF-41-2-e20180124.pdf>. Acesso em: 16 de nov. de 2018.

Figura 18. História em quadrinhos. **Os vingadores: Adaptóides em fúria.** n° 020. Barueri :Panini Comics, 2015.

Figura 19. História em quadrinhos. **Capitão átomo: Evolução das espécies.** Disponível em: <https://docero.com.br/doc/55ccx>. Acesso em: 12 de jan. de 2019.

Figura 20. Arquivo pessoal do autor.

Figura 21. Arquivo pessoal do autor.

Figura 22. Arquivo pessoal do autor.

APÊNDICE A – PRODUTO EDUCACIONAL APÊNDICE A

**AS VERDADEIRAS JÓIAS DO INFINITO: O UNIVERSO DAS
PARTÍCULAS ELEMENTARES.**

CRISTIANO PEREIRA DA SILVA

Orientador:

Profº. Dr. Ernesto Arcenio Valdés Rodriguez

1 APRESENTAÇÃO

Este trabalho faz parte da dissertação de mestrado, “Uma proposta de ensino de física de partículas em quadrinhos para o ensino médio”, de autoria de Cristiano Pereira da Silva, sob a orientação do prof. Dr. Ernesto Arcenio Valdés Rodriguez. A estratégia apresentada, partiu da elaboração de uma história em quadrinhos sobre temas e conceitos de estrutura da matéria defendidos pela teoria do modelo padrão de partículas. Portanto, este produto educacional tem o intuito de introduzir a temática em sala de aula, a partir da conexão entre a proposta curricular do ensino médio e o fascínio demonstrado pelos adolescentes atualmente em relação a produções artísticas de ficção científica alicerçadas no universo dos super-heróis.

A linguagem e o sinais próprios desse recurso didático, facilitam a construção e reconstrução de ideias e conceitos acerca das interações fundamentais da matéria e das partículas elementares. Introduzir conceitos tão complexos de maneira lúdica, atraente e simultaneamente coerentes com as teorias contemporâneas, é um desafio para qualquer docente da educação básica.

Neste contexto, este produto educacional é uma importante contribuição para facilitar esta árdua tarefa. Não se trata de uma receita ou uma solução lógico-matemática para todos os dilemas que a transposição didática dos conteúdos acerca da física de partículas impõe aos professores de física do ensino médio. O que se propõe com esta obra é apontar um caminho e levar a reflexão sobre outras possibilidades de abordagens sobre a temática da estrutura da matéria.

Com a perspectiva de cooperar para uma aprendizagem significativa, “**As verdadeiras Joias do infinito: o universo das Partículas elementares**”, representa uma estratégia pedagógica que dialoga com a realidade dos discentes do ensino médio. Acreditando acima de tudo, que nem o ensino, nem a aprendizagem estão emoldurados em liames ortodoxos, mas, como a própria

humanidade, eles se desenvolvem e se apresentam sob múltiplos aspectos, que nem sempre estão relacionados a tradicionalidade do sistema atual.

2. OBJETIVOS

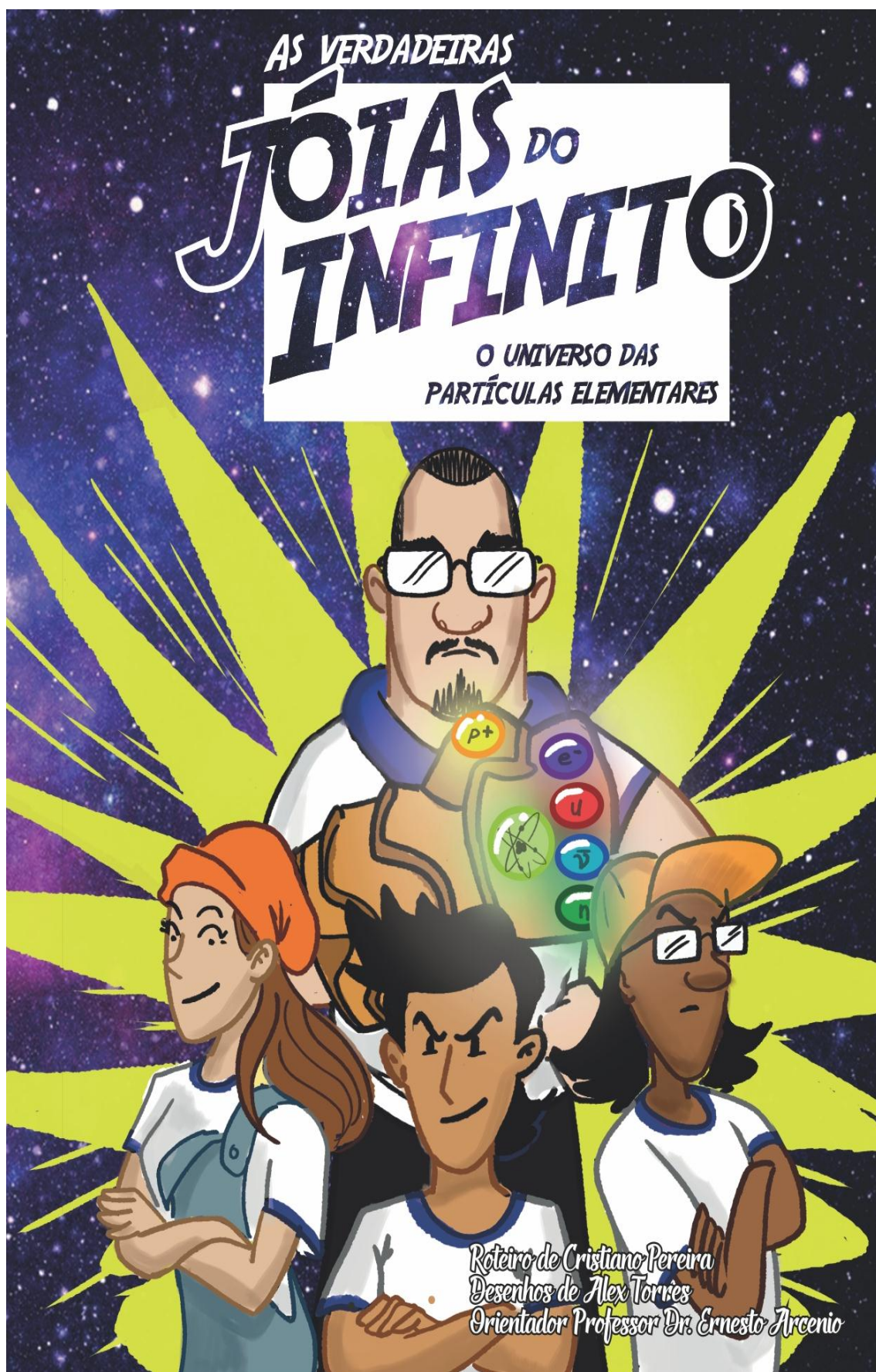
Este produto tem como objetivo oferecer aos professores do ensino médio uma opção de introdução para abordagem de física de partículas, com base na utilização de histórias em quadrinhos em sala de aula, com a finalidade de interligar os conceitos teóricos com o universo das obras de ficção científica.

2.1 Objetivo geral

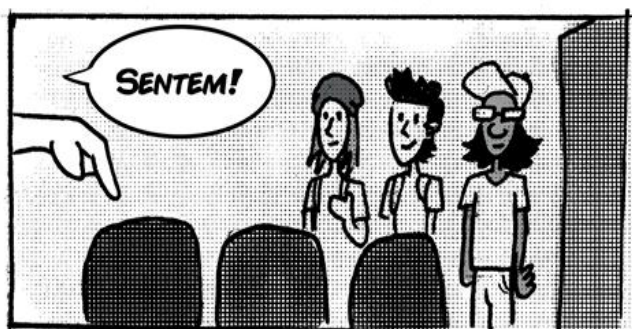
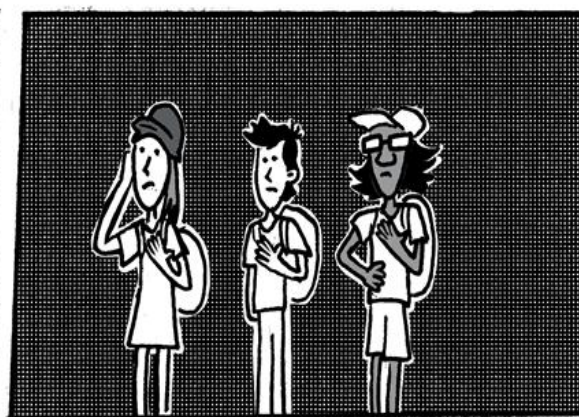
Apresentar conceitos acerca das interações fundamentais e das partículas elementares por meio de histórias em quadrinhos.

2.2 Objetivos específicos

- Incentivar a leitura de narrativas em quadrinhos construídas por meio da conexão entre temas de estrutura da matéria e o universo das obras de ficção científica;
- Elaborar e aplicar situações-problema, através de questionário, para construção dos conceitos básicos de física de partículas;
- Identificar as concepções elaboradas pelos estudantes e incluí-las na abordagem do conteúdo, com a mediação do professor;
- Identificar erros conceituais dos estudantes na resolução de problemas acerca da estrutura da matéria e a partir disso identificar possíveis dificuldades a fim de saná-las.







ENTÃO VAMOS LÁ.

ESTE QUADRO MOSTRA O MODELO PADRÃO DAS PARTÍCULAS E COMO PODEMOS AGRUPÁ-LAS EM FÉRMIONS, QUE SÃO OS LÉPTONS E QUARKS, OU BÓSONS, QUE SÃO O FÓTON, O GLÚON, O GRÁVITON E AS PARTÍCULAS Z E W, POR EXEMPLO.

FIGURA 01

	fermions			bosons	
quarks	u up	c charm	t top	γ photon	partículas de interação
	d down	s strange	b bottom	g gluon	
	leptons	ν _e electron neutrino	ν _μ muon neutrino	ν _τ tau neutrino	
	e electron	μ muon	τ tau	W W-bosons	

TAL CLASSIFICAÇÃO LEVA EM CONSIDERAÇÃO A CONSERVAÇÃO DO MOMENTO ANGULAR EXPRESSO ATRAVÉS DO NÚMERO QUÂNTICO DE SPIN.

Fénions		Bósons	
Léptons Quarks	Spin 1/2	1	Transporte de Força w ⁺ w ⁻ z ⁰ g
Bárions (qqq)	1/2 3/2 5/2 ...	0 1 2 ...	Mésons (q $\bar{q}$)

FIGURA 02

AS QUE POSSUEM SPIN FRACIONÁRIO (1/2, 3/2, 5/2,...) SÃO CHAMADAS DE FÉRMIONS E AS QUE POSSUEM SPIN INTEIRO (0,1,2,3,...) SÃO CHAMADOS DE BÓSONS.

TENHO QUE ANOTEAR TUDO!

NOSSA, QUE INTERESSANTE!!



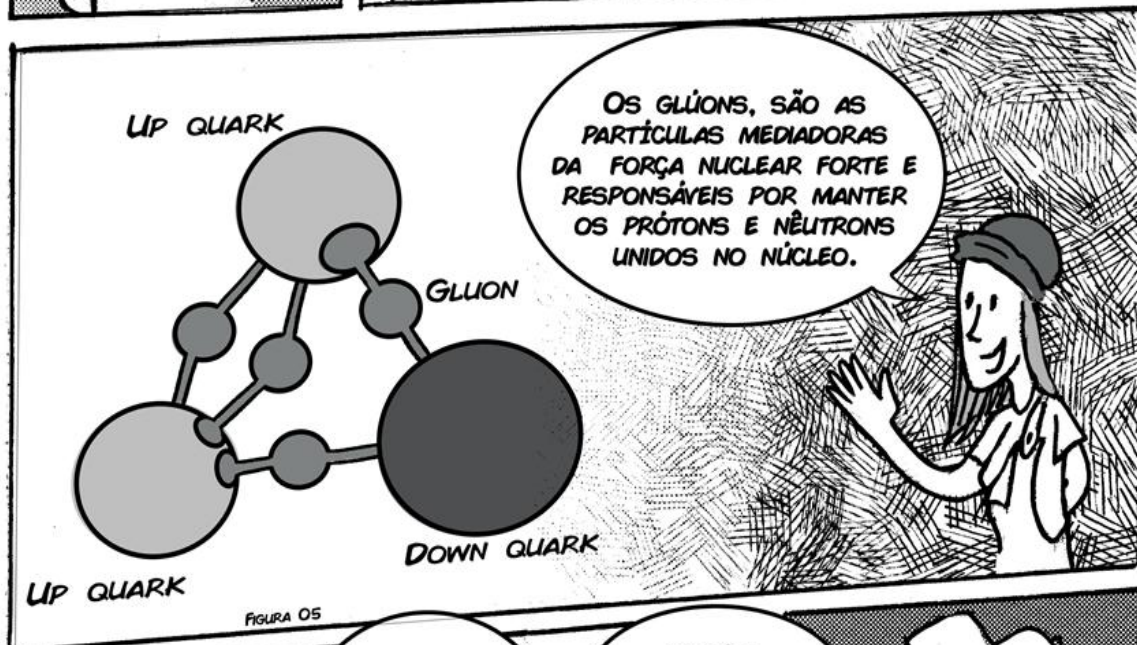
FIGURA 03



FIGURA 04







AS PARTÍCULAS W^+ , W^- E Z^0 SÃO AS MEDIADORAS DA FORÇA NUCLEAR FRACA QUE É RESPONSÁVEL, POR EXEMPLO, PELO DECAIMENTO RADIOATIVO BETA.

A PARTÍCULA BETA (β) TAMBÉM É CHAMADA DE PÓSITRON QUE É A ANTIPARTÍCULA DO ELÉTRON NO DECAIMENTO BETA MAIS OU É CHAMADA DE ELÉTRON NO DECAIMENTO BETA MENOS.

BOA, RUAN!!

$^{14}_6\text{C} \rightarrow ^{14}_7\text{N} + e^- + \bar{\nu}_e$

$n \rightarrow p + e^- + \bar{\nu}_e$

FIGURA 06

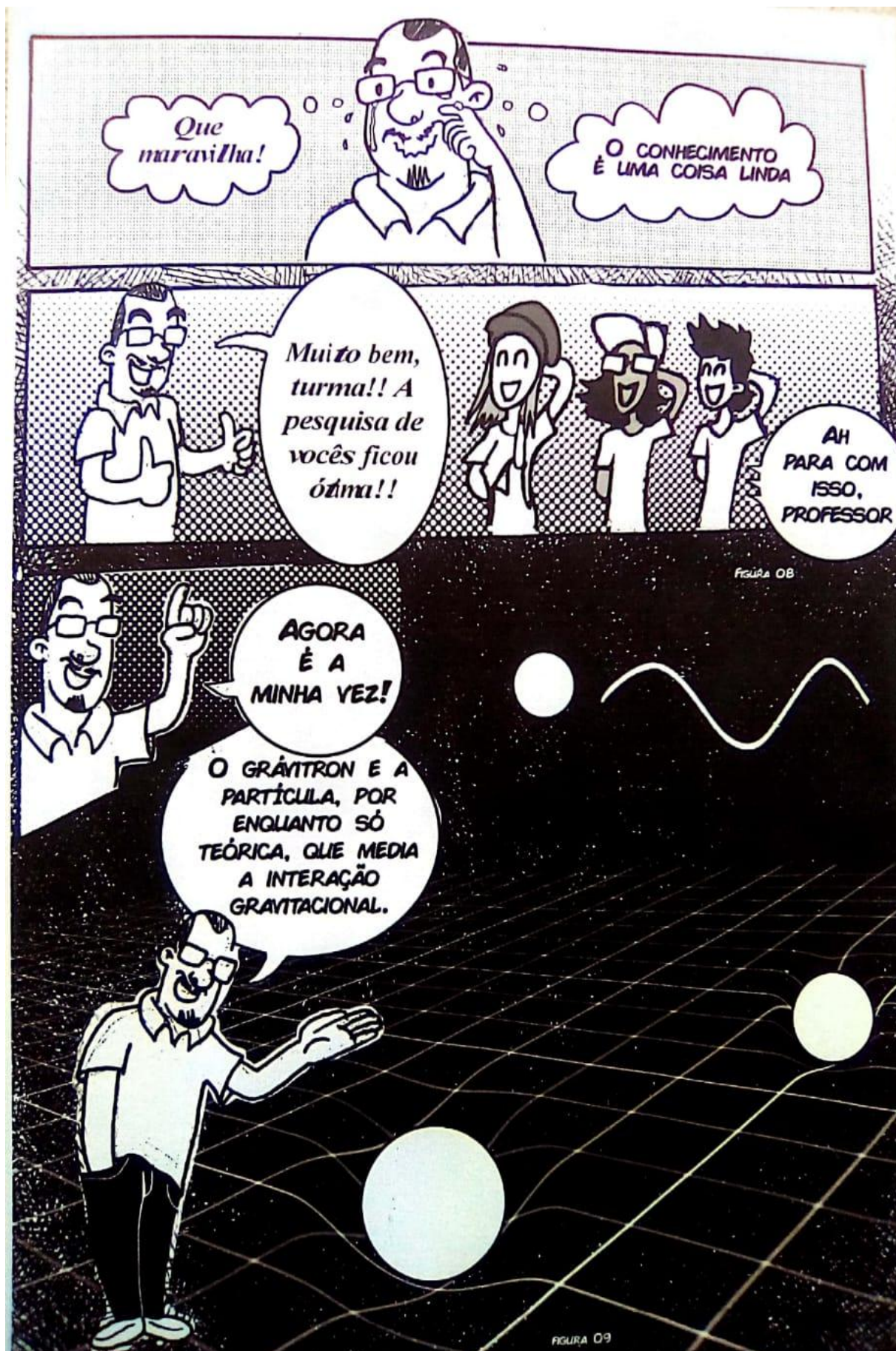
AGORA EU

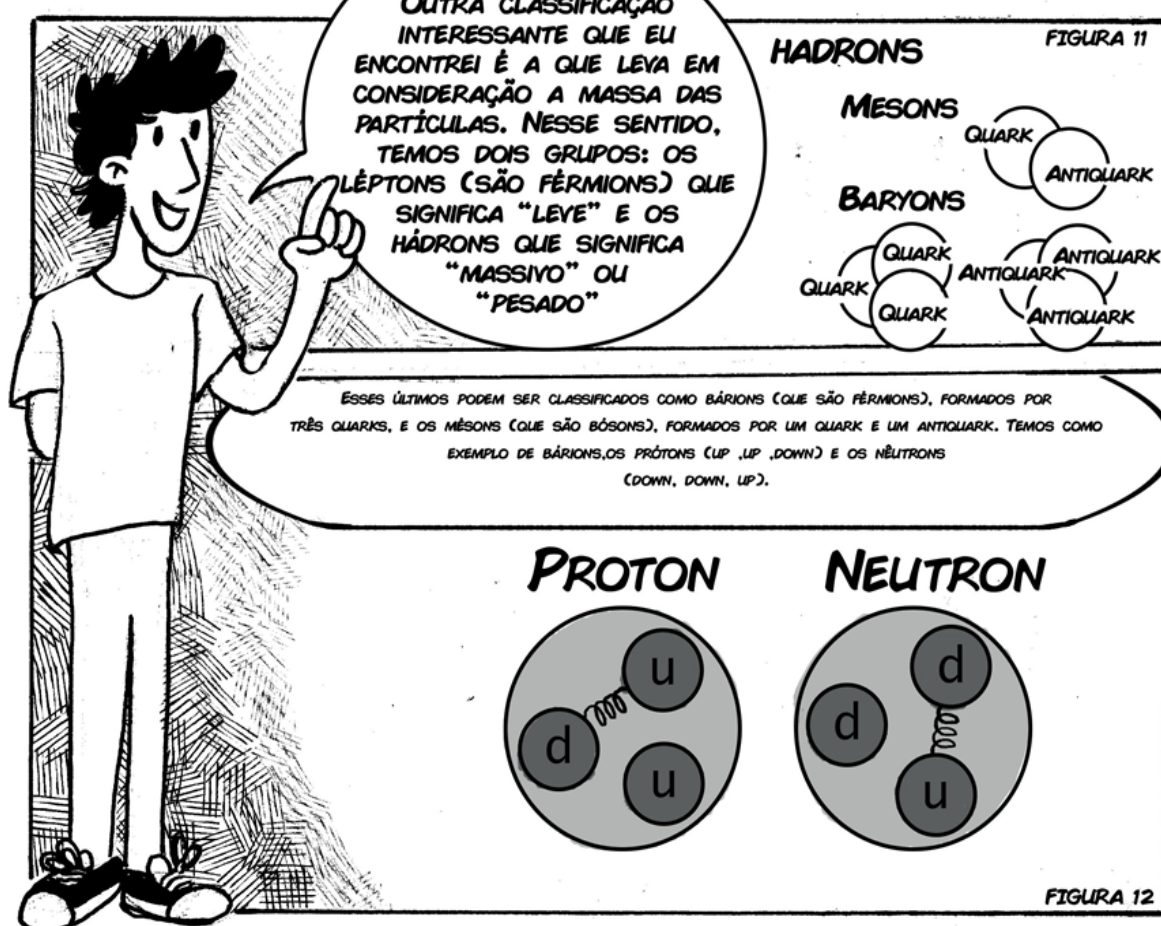
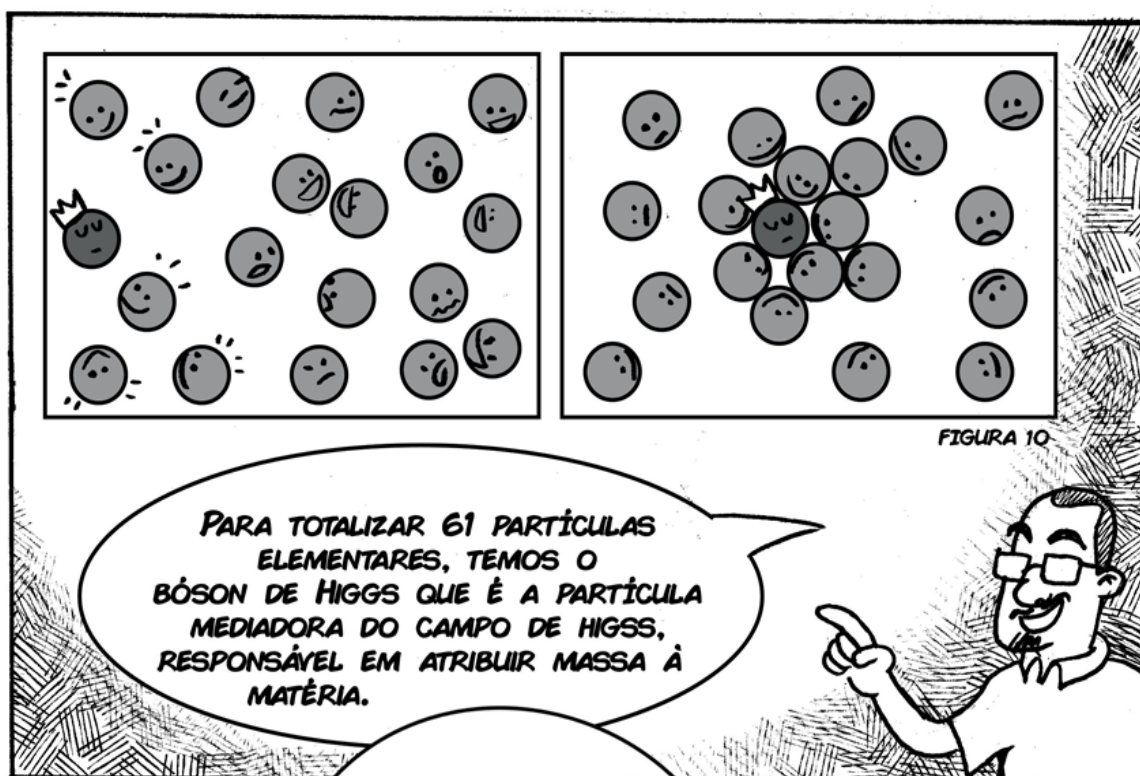
FOTON ELETROMAGNÉTICO

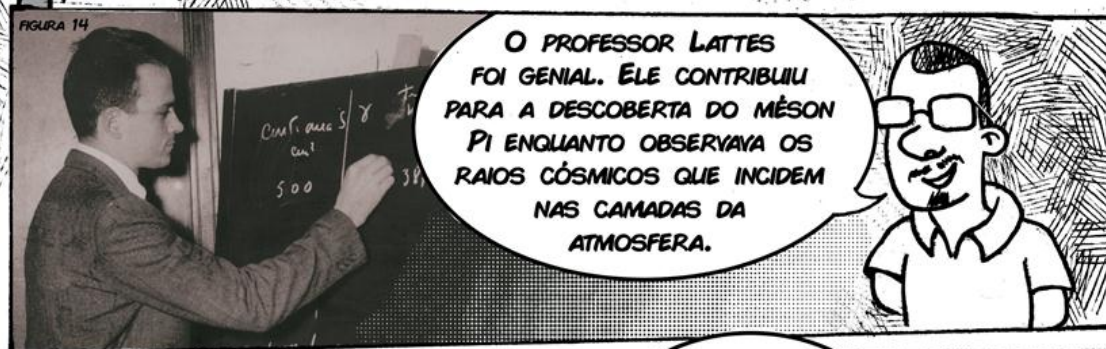
ELÉTRON EJETADO

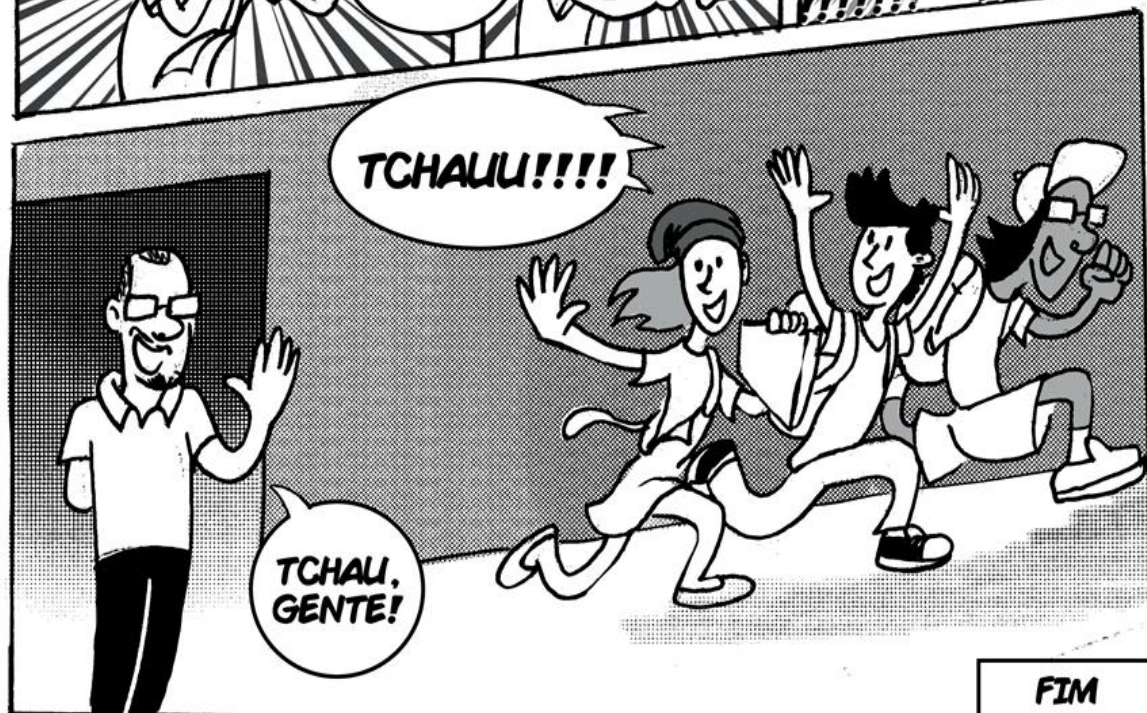
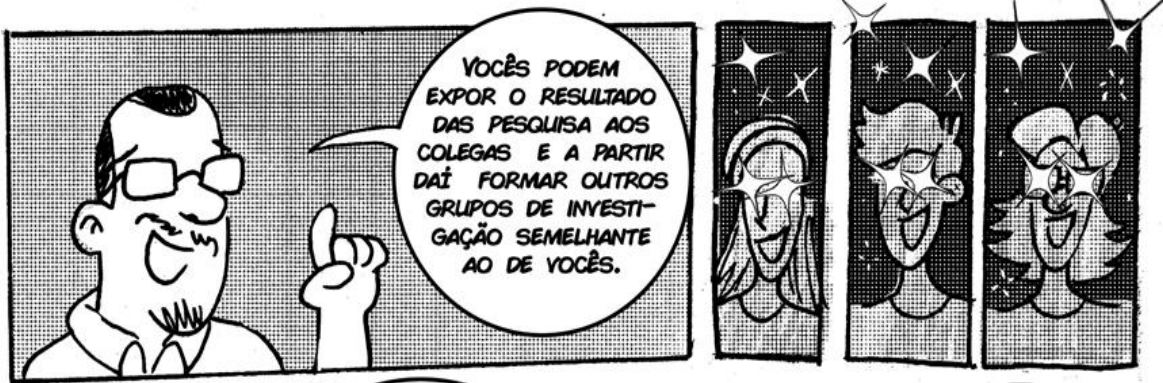
FIGURA 07

A PARTÍCULA MEDIADORA DA FORÇA ELETROMAGNÉTICA QUE ATUA, POR EXEMPLO, ENTRE OS PRÓTONS E OS ELÉTRONS SÃO OS FÓTONS. COM A MINHA PESQUISA COMECEI A ENTENDER UM POUCO SOBRE A GERAÇÃO DE ENERGIA SOLAR.









FIM

GLOSSÁRIO*

ANiquilação

Processo no qual uma partícula encontra sua antipartícula e ambas desaparecem, produzindo uma quantidade enorme de energia.

Antipartícula

Segundo o modelo padrão, toda partícula tem a sua antipartícula. Dada uma partícula, obtém-se a antipartícula aplicando-se uma simetria nomeada conjugação de carga, segundo a qual se inverte o sinal da carga elétrica e o dos números quânticos internos. Outras grandezas, tais como massa e spin, permanecem iguais à partícula. As antipartículas constituem a antimatéria.

CARGA COR

Carga associada às interações fortes. Quarks e glúons tem carga cor.

CONSERVAÇÃO DE ENERGIA

Lei científica: a energia, ou seu equivalente em massa, não pode ser criada ou destruída. Fala-se ainda, em conservação do momento, e dos números quânticos.

DECAIMENTO RADIOATIVO

Processo de diminuição progressiva do número de átomos radioativos de uma substância, por desintegração nuclear espontânea. Também conhecida como desintegração radioativa.

INTERAÇÃO

Nas colisões, é o processo no qual uma partícula sente e responde à presença de outra. Nos decaimentos, é a própria desintegração da partícula.

MOMENTO ANGULAR

Grandeza vetorial representada pelo produto do momento de inercia pela velocidade angular.

MOMENTO DE INERCIA

Nome dado à inercia rotacional, ou seja, o análogo rotacional da massa que aparece no movimento linear.

NÚMERO QUÂNTICO

Número associado à função de onda de um sistema quantificado e que, sozinho ou junto com outros, caracteriza o estado do sistema.

PRODUÇÃO DE PAR

Fenômeno que ocorre quando há energia suficiente para que uma partícula e sua antiparceira possam ser produzidas. Para que esse fenômeno ocorra, a energia mínima é o dobro da massa de repouso da partícula em questão. Um exemplo: fótons com energia maior do que duas vezes a massa de repouso do elétron podem produzir um par elétron-pósitron.

SPIN

Um dos números quânticos característicos das partículas elementares. Visualiza-se como propriedade associada a um movimento de rotação intrínseco a partícula. Do ponto de vista das simetrias, o spin é a resposta da partícula às transformações do espaço-tempo

* OS CONCEITOS PRESENTES NESTE GLOSSÁRIO FORAM RETIRADOS DO GLOSSÁRIO DO LIVRO “O DISCRETO CHAME DAS PARTÍCULAS ELEMENTARES, 2ª EDIÇÃO, SÃO PAULO, EDITORA LIVRARIA DA FÍSICA, 2016”, DA PROFESSORA MARIA CRISTINA BARTONI ABDALLA.

FIGURAS**

Figura 1: <http://fisicoandersononohara.blogspot.com/2010/11/maiores-aceleradores-de-particulas-do.html> – acesso em nov. de 2018

Figura 2 -

<http://www.astro.iag.usp.br/~ronaldo/intrcosm/Glossario/Fermions.html> – acesso em nov. de 2018

Figura 3 - <https://slideplayer.com.br/slide/1687584/> – acesso em nov. de 2018

Figura 4 -

<https://pt.slideshare.net/BrunoDeSiqueiraCosta/14-foras-fundamentais> – acesso em nov. de 2018

Figura 5 -

<https://xquimica.blogspot.com/2018/02/boson-de-higgs-qual-sua-importancia.html?m=1> - acesso em nov. de 2018.

Figura 6: - <https://slideplayer.com.br/slide/66908/> – acesso em nov. de 2018

Figura 7: - <http://fisicasimples2.blogspot.com/2011/04/> - acesso em nov. de 2018

Figura 8: <https://medium.com/@eltonwade/o-limite-da-f%C3%ADsica-os-gravitons-realmente-existem-3d4bff6ee937> – acesso em nov. de 2018

Figura 9:

<https://pt.dreamstime.com/representa%C3%A7%C3%A3o-em-um-esp%C3%A7o-abstrato-da-gravidade-ilustra%C3%A7%C3%A3o-d-image113821495> – acesso em nov. de 2018

Figura 10: <https://www.livescience.com/17431-higgs-boson-god-particle-infographic.html> – acesso em nov. de 2018

Figura 11: <http://www.thestargarden.co.uk/Strong-nuclear-force.html> – acesso em nov. de 2018

Figura 12: <https://inct-fna.if.uff.br/hadrons-plasmas-quarks-gluons/> – acesso em nov. de 2018

Figura 13: https://pt.wikipedia.org/wiki/P%C3%ADon#/media/File:Quark_structure_pion.svg – acesso em nov. de 2018

Figura 14: https://pt.wikipedia.org/wiki/C%C3%A9sar_Lattes#/media/File:Cesar_Lattes,_1949.tif – acesso em nov. de 2018

**** AS FIGURAS OU ESQUEMAS DIDÁTICOS PRESENTES NESTA OBRA FORAM RETIRADOS OU ADAPTADOS DOS ENDEREÇOS ELENCADOS ACIMA.**

APÊNDICE B – QUESTIONÁRIO

O presente questionário é uma sugestão ofertada aos professores de física da educação básica, para aplicação e obtenção de padrões de resposta acerca das concepções e conceitos construídos pelos estudantes após a leitura da H.Q. Trata-se de uma aplicação simples e fica a cargo do educador, utilizá-lo com pré e pós teste ou apenas ao final da aplicação do produto educacional.

Questionário (sobre a estrutura da matéria)

1-São partículas elementares que compõem a matéria:

- a) píons, neutrinos e glúons
- b) hádrons, elétrons e nêutrons
- c) prótons, nêutrons e elétrons,
- d) fótons, prótons e mésons
- e) quarks, elétrons e glúons

2- São partículas elementares que compõem a antimatéria

- a) grávitron, neutrinos e glúons
- b) hádrons, elétrons e nêutrons
- c) antiprótons, antinêutrons e antielétrons,
- d) antifótons, antiprótons e antimésons
- e) antiquarks, pósitrons e antiglúons

3- As quatro forças ou interações fundamentais da natureza são:

- a) a força peso, a força de atrito, a força centrípeta e a força elétrica
- b) a força elástica, a força gravitacional, a força elétrica e a força magnética
- c) a força eletromagnética, a força gravitacional, a força nuclear forte e a força nuclear fraca.
- d) a força radioativa, a força elétrica, a força magnética e a força centrípeta.
- e) a força peso, a força elástica, a força eletromagnética e a força radioativa.

4- O bóson que está associado ao fenômeno da geração de energia elétrica a partir de energia solar é;

- a) o próton
- b) o elétron
- c) o Higgs
- d) o fóton
- e) o Z^0

5- Quando uma partícula colide com uma antipartícula ocorre o fenômeno de:

- a) produção de pares
- b) aniquilação**
- c) fusão nuclear
- d) fissão nuclear
- e) formação da matéria escura

6- A tomografia por emissão de pósitron é um exame de diagnóstico por imagem, que permite medir a atividade metabólica das lesões nos tecidos atingidos por tumores cancerígenos. Sob o pósitron podemos afirmar que é a antipartícula do:

- a) neutrino
- b) próton
- c) elétron**
- d) nêutron
- e) fóton

7-As partículas mediadoras que são responsáveis por manterem os prótons e neutros unidos nos núcleos atômicos são:

- a) os bósons Z e W
- b) os grávitons
- c) os glúons**
- d) os fótons
- e) os neutrinos

8-O decaimento radioativo é um processo natural e ocorre quando o núcleo atômico instável libera partículas alfa, beta e gama. As partículas que mediam o tipo de interação fundamental presente nestes fenômenos são:

- a) os bósons Z e W**
- b) os grávitons
- c) os glúons
- d) os fótons
- e) os neutrinos

9- As partículas elementares que são responsáveis por atribuir massa à matéria são:

- a) os prótons e nêutrons
- b) os bósons Z e W
- c) os bósons de Higgs
- d) os prótons e elétrons
- e) nêutrons e fótons

10-A principal grandeza física que diferencia os férmions dos bósons é:

- a) número quântico de spin
- b) a massa
- c) a carga elétrica
- d) número quântico azimutal
- e) a radiação

APÊNDICE C –TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO

Você está sendo convidado a participar de uma pesquisa: “Uma proposta de ensino de física de partículas em quadrinhos para o ensino médio”, podendo decidir se quer ou não participar da mesma. Por favor, não se apresse em tomar a decisão, leia cuidadosamente o que se segue e sinta-se no direito de esclarecer qualquer dúvida ao responsável pela pesquisa, o Mestrando do Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física da Universidade Federal de Pernambuco (PE), Cristiano Pereira da Silva, sob a orientação do Prof. Dr. Prof. Dr. Ernesto Arcenio Valdés Rodriguez, para os devidos esclarecimentos que julgar necessário.

Este estudo contempla a aplicação de um produto educacional, composto por uma história em quadrinhos sobre física de partículas.

Caso concorde em participar da pesquisa, seu nome e identidade serão mantidos em sigilo, sendo importante o esclarecimento de que não receberá nenhum benefício direto, como também nenhum prejuízo às suas atividades. A pesquisa se realizará por meio de atividades leitura e resolução de questionários. Sua participação é voluntária, podendo optar em não fazer parte do estudo, estando livre para desistir a qualquer momento. Como segurança, este documento consta de duas vias, uma para o pesquisador e outra para o pesquisado. Contamos com sua compreensão e colaboração. Vale lembrar, que todo o resultado desta pesquisa estará acessível na biblioteca da Universidade Federal de Pernambuco (UFPE), após a defesa da pesquisa.

A realização da coleta de dados não traz riscos nem desconfortos aos participantes, as questões abordadas não são de cunho pejorativo e jamais haverá julgamento de valores, ou qualquer outro ato, que possam em algum momento, vir a prejudicar qualquer participante.

Os dados serão analisados mediante a devolução deste Termo de Consentimento Livre e Esclarecido, devidamente assinado.

Declaro que li e entendi este Termo de Consentimento Livre e Esclarecido, tendo todas as minhas dúvidas esclarecidas, sendo assim, aceito tomar parte desse estudo.

TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO – PAIS E RESPONSÁVEIS

AUTORIZAÇÃO PARA DIVULGAÇÃO DE IMAGEM PARA OS PAIS E RESPONSÁVEIS DOS ALUNOS ESCOLA TÉCNICA ESTADUAL MARIA EDUARDA RAMOS DE BARROS.

Eu, _____
, portador da carteira de identidade de n.º _____, autorizo ao professor Cristiano Pereira da Silva, pesquisador do programa Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física da UFPE, polo Caruaru - PE, cujo trabalho se intitula: “UMA PROPOSTA DE ENSINO DE FÍSICA DE PARTÍCULAS EM QUADRINHOS PARA O ENSINO MÉDIO”, a utilizar imagens de meu filho(a) _____

_____, do 3.º ano _____ da Escola Técnica Estadual Maria Eduarda Ramos de Barros. Declaro estar ciente de que se trata de uma pesquisa sobre a importância das aulas de Física de Partículas no Ensino Médio para a formação acadêmica dos alunos e que o material citado será divulgado apenas com fins científicos, na área de Física e ensino, não havendo identificação, nem exposição de conteúdos particulares que ofereçam riscos ou prejuízos ao (à) aluno (a). O material levantado por esta pesquisa ficará em poder do pesquisador, em envelope lacrado ou em arquivo digital, pelo período de cinco (5) anos. Fui informado de que, a qualquer momento, poderei desistir da participação do meu filho (a) neste trabalho. O pesquisador em questão poderá ser encontrado na escola no turno matutino e vespertino, de segunda a sexta-feira e ainda no telefone: (81) 99784-0470 (celular), além do endereço de e-mail: cristiperefir@gmail.com, para quaisquer esclarecimentos. Desde já, agradeço a sua colaboração. Atenciosamente, Cristiano Pereira da Silva (orientando), Prof. Drº. Ernesto Arcenio Valdés Rodriguez (orientador)

Carpina (PE), 05 de fevereiro de 2019.

Assinatura do pai e/ou responsável

Assinatura do Pesquisador Responsável