

**UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DE PERNAMBUCO  
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENSINO DAS CIÊNCIAS**

**ALEXSANDRO ALBERTO DA SILVA**

**ANÁLISE DOS MODOS DE PENSAR E FORMAS DE FALAR O  
CONCEITO DE ÁTOMO EM UM ESTUDO DE CASO HISTÓRICO  
SOBRE A QUEIMA DOS FOGOS DE ARTIFÍCIO**

**RECIFE  
2022**

**ALEXSANDRO ALBERTO DA SILVA**

**ANÁLISE DOS MODOS DE PENSAR E FORMAS DE FALAR O  
CONCEITO DE ÁTOMO EM UM ESTUDO DE CASO HISTÓRICO  
SOBRE A QUEIMA DOS FOGOS DE ARTIFÍCIO**

Dissertação apresentada à  
Universidade Federal Rural de  
Pernambuco, como parte das  
exigências do Programa de Pós-  
Graduação em Ensino das Ciências,  
para obtenção do título de Mestre.

Orientadora: Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Edenia Maria  
Ribeiro do Amaral.

**RECIFE  
2022**

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação  
Universidade Federal Rural de Pernambuco  
Sistema Integrado de Bibliotecas  
Gerada automaticamente, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

---

S586a

SILVA, ALEXSANDRO ALBERTO DA  
ANÁLISE DOS MODOS DE PENSAR E FORMAS DE FALAR O CONCEITO DE ÁTOMO EM UM  
ESTUDO DE CASO HISTÓRICO SOBRE A QUEIMA DOS FOGOS DE ARTIFÍCIO / ALEXSANDRO  
ALBERTO DA SILVA. - 2022.  
234 f.

Orientadora: EDENIA MARIA RIBEIRO DO AMARAL.  
Inclui referências e apêndice(s).

Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal Rural de Pernambuco, Programa de Pós-Graduação em  
Ensino das Ciências, Recife, 2023.

1. CONCEITO DE ÁTOMO. 2. ESTUDO DE CASO HISTÓRICO. 3. MODOS DE PENSAR E FORMAS  
DE FALAR. I. AMARAL, EDENIA MARIA RIBEIRO DO, orient. II. Título

CDD 507

---

# **ANÁLISE DOS MODOS DE PENSAR E FORMAS DE FALAR O CONCEITO DE ÁTOMO EM UM ESTUDO DE CASO HISTÓRICO SOBRE A QUEIMA DOS FOGOS DE ARTIFÍCIO**

Dissertação apresentada ao Programa Pós-Graduação em Ensino das Ciências da Universidade de Federal Rural de Pernambuco, como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Ensino das Ciências.

Em: 28/02/2022.

## **COMISSÃO AVALIADORA**

[REDACTED]

---

Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Edenia Maria Ribeiro do Amaral (Orientadora)  
UFRPE

[REDACTED]

---

Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Suely Alves da Silva (Membro Interno)  
UFRPE

[REDACTED]

---

Prof. Dr<sup>a</sup>. Maria Ângela Vasconcelos de Almeida (Membro Externo)  
UFRPE

*Dedico este trabalho a etérea existência de mamãe,  
Eliane Borges da Silva.*

## AGRADECIMENTOS

Agradecer é uma tarefa nobre, ética. Isso nos torna humano. Essa humanidade não vem sem reflexão e criticidade. Eu tenho muito a dizer, mas tentarei ser breve. O que não é fácil para mim. Sempre me questiono o tamanho dessa complexidade, cobrança e perfeccionismo que levo na minha história. E como cristão, preciso estender meu primeiro agradecimento a quem acredito ser a razão primeira de minha existência e os meus *quefazeres*, Deus. Ele melhor do que qualquer me sonda e sabe de meus desejos. Abre os meus caminhos e me guia e fortalece no caminhar.

Dito isto, não poderia deixar de destacar a relevância da figura de mamãe, Eliane Borges da Silva, a quem dedico todo esse trabalho em cada detalhe, dificuldades e conquistas. Sou quem sou por suas mãos e orações. É difícil falar sobre minha mãe por ter vivido/viver momentos de solidão, abandono e desafeto. Pareceu ruim? Sim, mas não o é. Essa é mamãe. Melhor dizendo, mamãe é meu grande espelho de existência. Na terapia, após o ano de 2016, eu precisei me ver em mamãe, na verdade, ela em mim. Isso trouxe um olhar (re) significado de minhas memórias afetivas. Obrigado, mamãe! Mais uma vez, gratidão eterna.

A minha família é também vovó Celina, vovô Francisco (*In Memorium*) e minha tia Ilza, sem vocês também não estaria aqui vivo, com educação, formado e concursado. A luta de vocês pelos filhos de mamãe abriu caminhos, sonhos e realidades possíveis. Muito obrigado!!!

Trajetória. É uma palavra bem substancial no desenvolvimento dessa pesquisa. As razões eu inquiri associar ao meu Ensino Médio, quando estudava sobre atomística e tudo me parecia tão somente memorização. Por quê? Não sabia. E memorizar foi/é sempre uma ação muito produtiva para eu aprender. Será mesmo que eu posso assim dizer? Melhor, talvez, inicie indícios dessa consciência.

Preciso também falar das disciplinas de Química I, Química III e Química Inorgânica no curso de licenciatura plena em Química da UFRPE-Recife, ministradas pelos professores Hélcio Batista e Mônica Belian. Nelas, comecei a conhecer a Química com outras relações, bases teóricas e aplicações. E as

questões do ensino de química quântica começaram a emergir ali. Sempre era uma pergunta a professora: eu aprendi? Era difícil conceber o entendimento de tamanha complexidade desses saberes com base em reflexões filosóficas que se fortaleceram com achados científicos e proposições de expressões matemática.

Por fim, não menos importante, eu diria qualitativamente maior, conhecer a História da Química em uma disciplina de mesmo nome, ofertada no curso citado anterior pela professora Ângela Vasconcelos de Almeida. Nesse momento comecei a ampliar meus questionamentos e encontrar fundamentos para pensar o ensino e a aprendizagem de atomística.

Quem disse que o caminho clareou? Não. O início do mestrado em ensino das ciências foi em 2014. Estranho? Sim. Eu cursei por duas vezes (2014-2016/2019-2021). Eu poderia elencar muitas razões para não ter sido naquele primeiro momento, mesmo tendo feito o texto a “suor e sangue”. Por questão ética, vou-me a ter ao exposto.

Seguindo o baile, preciso destacar sobre a minha inserção na comunidade do programa de pesquisa dos perfis conceituais foi um dos grandes desafios e maior presente para a minha formação e prática pedagógica trazida pela professora orientadora Edenia Amaral. Não há como falar de um eu professor diferente sem essa vivência compartilhada, inclusive, junto ao grupo de pesquisa NUPEDICC. A base histórico-cultural trouxe elementos materiais e histórico-dialético para o meu processo identitário e o *que fazer docente*.

E não para por aí. Achava que não voltaria mais ao PPGEC-UFRPE porque vivenciar a primeira experiência do curso foi literalmente um campo de batalha. Só que ingressei na licenciatura plena em Ciências Biológicas da UFRPE-Recife, durante o período do curso que passou por momentos simultâneos com o da segunda entrada no mestrado, conheci professora Monica Folena, minha orientadora PIC CNPq, por quatro anos, o grupo de pesquisa FORBIO e a Cátedra Paulo Freire - Educação para a Sustentabilidade da UFRPE. Isso reacendeu em mim o desejo de estar naquele lugar para desenvolver mais ainda uma atuação consciente qualificada da minha prática educativa na rede pública de ensino.

Não posso mais uma vez deixar de falar de minha orientadora, professora Edenia Amaral, e, ao mesmo tempo, não tenho palavras. Quanta/o humanidade ímpar, afeto, paciência, fé, esperança, ética, sapiência e acolhimento. De modo algum, conseguiria estruturar tantos anseios, dos quais a senhora sabe bem que ia bem longe, e tudo parecia não ter fim. E, veio ao fim? poderia dizer que é apenas o começo. Você me ensinou Edenia com tanta maestria, traquejo e profundas reflexões críticas em diversos espaço-tempo, em uma realidade, sobretudo, no tocante ao cenário mundial de pandemia e de dificuldades pessoais e profissionais, atingindo minha dignidade humana e sobrevivência literalmente, com a perseguição política da rede de ensino do município do Jaboatão dos Guararapes que foi/é um grande baque, mas me mostrou que educação passa por isso também e faz parte de minha formação. Essa pesquisa tem sua marca poética do fazer científico.

E a banca que contribuiu grandiosamente com olhares para o desenvolvimento desse estudo, dessa escrita e articulações construídas para a Teoria dos Perfis Conceituais e a Educação em Ciências, especificamente, o Ensino de Química. Muito obrigado, professores João Tenório, Suely Alves e Ângela Almeida.

Quero também deixar minha gratidão a quem acreditou em mim para iniciar o mestrado em 2012/2013, a professora Analice Almeida, grande incentivadora e colaboradora da minha primeira entrada no PPGEC-UFRPE. Ao professor Eduardo Mortimer que generosamente me esclareceu algumas questões para o desenvolvimento dessa pesquisa. O professor Paulo Porto por ter me indicado e esclarecido algumas questões dos estudos de caso históricos. Às professoras do programa que gentilmente trouxeram considerações que me marcaram, Ruth Firmo, Verônica Batinga, Mônica Lins, Anna Paula Avelar, Ângela Campos, Ana Maria Carneiro-Leão, Zélia Jófili, Carmem Farias, Rita Patrícia e Rita Muhle. Assim como, à secretária Lia.

Ao grupo de pesquisa NUPEDICC que vem colaborando com o crescimento, materialização e ampliação dessas ideias na pesquisa e formação de professores.

Aos amigos/as que sempre estiveram ao meu lado para estar nesse caminho, Márcia Morais (*In Memorium*), Norma Sobral, Aline Santos, Irene Nascimento, Maria do Carmo, Idelazy Regis, Iracema Santos, Hildete Santos,

Edmar Sobreira, Pedro Pereira, Sônia Maria, Isabelle Cavalcanti, Barbara Oliveira.

Às duas colegas da turma 2014 que não aceitavam a postura dos outros comigo, e, gentilmente externavam sentimentos de insatisfação do mau grado deles e apoio para o prosseguimento do curso, Ana Paula e Cassiana. E aos colegas da turma 2019, em especial, a Gabriel e a Crislayne.

Desculpem a ausência em diversos momentos e obrigado a todos/as por tudo e tanto.

*Jamais considere seus estudos como uma obrigação, mas como uma oportunidade invejável para aprender a conhecer a influência libertadora da beleza do reino do espírito, para seu próprio prazer pessoal e para o proveito da comunidade à qual seu futuro trabalho pertencer.*

*Albert Einstein.*

## RESUMO

A teoria dos perfis conceituais propõe que conceitos podem ser polissêmicos quando assumem significados e sentidos vinculados à contextos de uso do cotidiano, do ensino ou em comunidades de práticas. Articular saberes histórico e culturalmente construídos no planejamento de ensino e aprendizagem para a mudança de perfis conceituais e a tomada de consciência deles é o foco da aprendizagem em ciências nessa teoria. Mediante isso, pensar e falar o conceito de átomo sempre foi um elemento estruturante do ensino de química quando se estuda os materiais e fenômenos. As dificuldades apontadas na literatura sobre ele se revelam na memorização, no procedimento matemático e na descontextualização. Nesse entorno, buscou-se na metodologia de ensino de estudo de caso histórico do programa de pesquisa de Stinner articular aos modos de pensar e as formas desse conceito proposto por Mortimer (2000), em quatro zonas do perfil conceitual de átomo. Assim, objetiva-se analisar a heterogeneidade do pensamento e da fala do conceito de átomo em um estudo de caso histórico envolvendo a queima dos fogos de artifício. De método descritivo, abordagem qualitativa, organizou esse estudo por meio do delineamento teórico e empírico. Aquele através da revisão da literatura sobre a história e visões de estudantes sobre o conceito de átomo a fim de delimitar os elementos estruturantes da matriz semântica do PCA. Depois, elaborou-se um estudo de caso histórico articulado as zonas desse perfil e se aplicou em formato remoto, com estudantes do ensino médio de instituições públicas diferentes, devido ao contexto da pandemia do Covid-19, entre os anos de 2020 e 2021. Os dados coletados foram oriundos e analisadas da literatura, do questionário diagnóstico respondido por 11 participantes e do recorte do ECH, referente ao episódio inicial e parte do episódio final, através das zonas do PCA. Os resultados apontaram para a emergência de novos modos de pensar e formas de falar o conceito de átomo antes não observadas em outros estudos que usaram o PCA, a saber: animista, generalista, transição da clássica para a quântica, monista, pragmática de realismo interno, estética e da gramática funcionalista. Em suma, conclui-se que a matriz do PCA pode ampliar a heterogeneidade do pensamento e da fala desse conceito a partir do aprofundamento histórico, sobretudo, entre os séculos XIX e XX e da vivência do ECH no contexto de ensino envolvendo o fenômeno da queima dos fogos de artifício. Isso pode abrir caminhos para visitar as zonas do PCA e refletir sobre as implicações desse estudo na formação inicial e continuada de professores química, no tocante à instrumentalização de processos de ensino e aprendizagem potencialmente enriquecedores de imaginação criativa, engajadores e argumentativas, fundamentadas na investigação crítica e reflexiva, a partir do uso de modelos teóricos em contextos de estudo sobre fenômenos.

**Palavras-chaves:** Conceito de Átomo; Estudo de Caso Histórico; Modos de Pensar e Formas de Falar.

## ABSTRACT

The theory of conceptual profiles proposes that concepts can be polysemic when they assume meanings and senses linked to contexts of everyday use, teaching or communities of practice. Articulating historically and culturally constructed knowledge in teaching and learning planning to change conceptual profiles and become aware of them is the focus of science learning in this theory. Therefore, thinking and talking about the atom concept has always been a structuring element of chemistry teaching when studying materials and phenomena. The difficulties pointed out in the literature about it are revealed in memorization, in the mathematical procedure and in decontextualization. In this context, the teaching methodology of the historical case study of Stinner's research program was sought to articulate the ways of thinking and the forms of this concept proposed by Mortimer (2000), in four zones of the conceptual profile of the atom. Thus, the objective is to analyze the heterogeneity of thought and speech of the atom concept in a historical case study involving the burning of fireworks. Descriptive method, qualitative approach, organized this study through theoretical and empirical design. That through the review of the literature on the history and visions of students of the atom to delimit the structuring elements of the semantic matrix of the PCA. Then, a historical case study was elaborated, articulated to the zones of this profile, and applied in a remote format, with high school students from different public institutions, due to the context of the Covid-19 pandemic, between the years 2020 and 2021. The collected data came from and analyzed the literature, the diagnostic questionnaire answered by 11 participants and the ECH clipping, referring to the initial episode and part of the final episode, through the PCA zones. The results pointed to the emergence of new ways of thinking and ways of talking about the atom concept not previously observed in other studies that used the PCA, namely: animist, generalist, transition from classical to quantum, monistic, pragmatics of internal realism, aesthetics, and functionalist grammar. In short, it is concluded that the PCA matrix can expand the heterogeneity of thought and speech of this concept from the historical depth, especially between the 19th and 20th centuries and the experience of ECH in the teaching context involving the phenomenon of burning of fireworks. This can open paths to revisit the PCA zones and reflect on the implications of this study in the initial and continuing education of chemistry teachers, regarding the instrumentalization of teaching and learning processes potentially enriching the creative imagination, engaging and argumentative based on critical and reflexive from the use of theoretical models in contexts of study on phenomena.

**Keywords:** Concept of Atom; Historical Case Study; Ways of Thinking and Ways of Speaking.

## Lista de Abreviaturas

ACM – *Alternative Concepts Moviment*

DPHC – Diário de Pesquisa Histórica Científica

ECH – Estudo de Caso Histórico

HC – História da Ciência

LCP – *Large Context Problem*

PAC – Problema de Amplo Contexto

PC – Perfil Conceitual

PCA – Perfil Conceitual de Átomo

PCN – Parâmetros Curriculares Nacionais

PCNEM - Parâmetros Curriculares Nacionais para o Ensino Médio

PCN+ - Orientações Educacionais Complementares aos PCNEM

SD – Sequência Didática

TPC – Teoria do (s) Perfil (s) Conceitual (is)

## Lista de Figuras

**Figura 1:** Metodologia de proposição dos perfis conceituais.

**Figura 2:** Sala de aula virtual no *google classroom*.

**Figura 3:** Sala de aula virtual no *google meet*.

**Figura 4:** Níveis de investigação da pesquisa científica propostos por Stinner (2008 – **tradução nossa**).

**Figura 5:** Diário de pesquisa histórica científica – Grupo 1.

**Figura 6:** Fluxograma do PAC para a zona sensorialista.

**Figura 7:** Fluxograma do PAC para a zona substancialista.

**Figura 8:** Fluxograma do PAC para a zona de átomo clássico.

**Figura 9:** Fluxograma do PAC para a zona de átomo quântico.

## Lista de Gráficos

**Gráfico 1:** Faixa etária.

**Gráfico 2:** Série/ano e nível de ensino.

**Gráfico 3:** Tipo e modalidade de ensino.

**Gráfico 4:** Recursos tecnológicos disponíveis.

**Gráfico 5:** Tipo de acesso à Web.

**Gráfico 6:** Zonas do perfil conceitual de átomo sobre o entendimento de estudantes do conceito átomo/modelos atômicos.

**Gráfico 7:** Zonas do perfil conceitual de átomo nas representações do entendimento de estudantes sobre o conceito átomo/modelos atômicos.

**Gráfico 8:** Zonas do perfil conceitual de átomo ao explicar a composição química dos materiais.

**Gráfico 9:** Zonas do perfil conceitual de átomo nas representações de estudantes sobre a composição química dos materiais.

**Gráfico 10:** Zonas do perfil conceitual de átomo nas concepções de estudantes sobre a matéria ser contínua ou descontínua.

**Gráfico 11:** Zonas do perfil conceitual de átomo nas representações sobre a continuidade e descontinuidade da matéria.

**Gráfico 12:** Zonas do perfil conceitual de átomo nas concepções de estudantes sobre o modo como os átomos se organizam para formar a matéria.

**Gráfico 13:** Zonas do perfil conceitual de átomo nas representações de estudantes sobre o modo como os átomos se organizam para formar a matéria.

**Gráfico 14:** Zonas do perfil conceitual de átomo nas concepções de estudantes sobre o efeito de cores na queima dos fogos de artifício através do conceito átomo/modelos atômicos.

**Gráfico 15:** Zonas do perfil conceitual de átomo nas representações dadas sobre o efeito de cores na queima dos fogos de artifício.

**Gráfico 16:** Zonas do perfil conceitual de átomo emergidas no debate sobre como produzir as cores do fogo artificial após o vídeo do experimento.

**Gráfico 17:** Zonas dos perfis conceituais de átomo de cada estudante no debate sobre como produzir as cores do fogo artificial após o vídeo do experimento.

**Gráfico 18:** Zonas do perfil conceitual de átomo no debate da conferência final sobre de que são feitos os fogos de artifício.

**Gráfico 19:** Zonas dos perfis conceituais de átomo de cada estudante no debate da conferência final sobre de que são feitos os fogos de artifícios.

## Lista de Quadros

- Quadro 1:** Trabalhos publicados na literatura sobre os perfis conceituais.
- Quadro 2:** Zonas do perfil conceitual de átomo e seus modos pensar e formas de falar.
- Quadro 3:** Sistematização descritiva da sequência didática.
- Quadro 4:** Questionário diagnóstico.
- Quadro 5:** *Story Line*.
- Quadro 6:** Situações-problemas.
- Quadro 7:** Questões norteadores simples.
- Quadro 8:** Questões norteadores intermediária.
- Quadro 9:** Questões norteadores aprofundadas.
- Quadro 10:** Ficha de construção do desenvolvimento histórico e atual.
- Quadro 11:** Ficha de construção do eu-personagem ou cientista-aluno.
- Quadro 12:** Roteiro do debate da conferência final.
- Quadro 13:** Concepções dos estudantes sobre o entendimento do conceito átomo/modelos atômicos.
- Quadro 14:** Representações sobre o entendimento do conceito átomo/modelos atômicos.
- Quadro 15:** Concepções dos estudantes ao explicar a composição química dos materiais.
- Quadro 16:** Representações sobre a composição química dos materiais.
- Quadro 17:** Concepções dos estudantes sobre a (des) continuidade da matéria.
- Quadro 18:** Representações sobre a continuidade e a descontinuidade da matéria.
- Quadro 19:** Concepções dos estudantes sobre de que forma os átomos se organizam para formar os materiais.
- Quadro 20:** Representações sobre a organização dos átomos na formação dos materiais.
- Quadro 21:** Concepções dos estudantes sobre a composição química dos fogos de artifício.
- Quadro 22:** Concepções dos estudantes sobre o efeito das cores na queima dos fogos de artifício através da ideia de átomo/modelos atômicos.

**Quadro 23:** Representações sobre a produção do efeito de cores na queima dos fogos de artifício.

**Quadro 24:** Transcrição do episódio de ensino 1 – Vídeo experimental sobre como fazer o fogo colorido do canal manual do mundo

**Quadro 25:** Transcrição do episódio de ensino 2 – Conferência final do estudo de caso histórico.

## SUMÁRIO

INTRODUÇÃO .....	20
1. CAPÍTULO I - A Guisa Teórica e Metodológica da Teoria dos Perfis Conceituais no Ensino e na Aprendizagem do Conceito de Átomo.....	29
1.1 A Teoria dos Perfis Conceituais.....	31
1.1.1 Aproximações teóricas e metodológicas para a proposição dos perfis conceituais.....	32
1.1.2 Aprofundando relações teóricas para o enriquecimento ou a mudança do perfil conceitual.....	38
1.1.3 Compromissos epistemológicos, ontológicos e axiológicos: categorização de zonas dos perfis conceituais.....	43
1.1.4 Domínios genéticos de Vygotsky: constituição de zonas dos perfis conceituais.....	46
1.1.5 Conceitos perfilados na literatura.....	50
1.1.6 O Perfil Conceitual de Átomo.....	53
1.2 Estudo de caso histórico no ensino de ciências.....	65
1.2.1 O ensino de ciências e a contextualização histórica.....	65
1.2.2 Estudo de caso histórico: o programa de pesquisa de Stinner.....	72
1.3 Concepções atomísticas.....	79
1.3.1 Antiatomismo filosófico.....	79
1.3.2 Atomismo filosófico.....	82
1.3.3 Antiatomismo científico.....	84
1.3.4 Atomismo científico.....	85
1.3.5 O atomismo na visão de estudantes.....	96
1.3.6 A história do fogo artificial e o atomismo.....	107
2. CAPÍTULO II - METODOLOGIA.....	110
2.1 Contexto e Sujeitos de Pesquisa.....	111
2.2 Etapas de Pesquisa.....	113
2.2.1 Analisando concepções históricas e estudantis sobre o conceito de átomo.....	114
2.2.2 Construção e aplicação de um estudo de caso histórico sobre o conceito de átomo e a queima dos fogos de artifício.....	114
2.2.2.1 Planejamento da sequência didática envolvendo o estudo de caso histórico.....	119
2.3 Instrumentos de Coleta de Dados.....	133
2.4 Análise dos Dados.....	133

3.	CAPÍTULO III – RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	135
3.1	Análise do instrumento questionário diagnóstico.....	136
3.1.1	Caracterização dos estudantes participantes.....	136
3.1.2	Concepções atomísticas e da composição de materiais.....	140
3.1.3	Concepções sobre a composição química dos fogos de artifício e o efeito das cores na queima.....	160
3.2	Análise de episódios de ensino na vivência do estudo de caso histórico.....	164
3.3	Proposta de uma primeira matriz semântica para o conceito de átomo.....	185
3.3.1	Temas epistemológicos: o atomismo e o antiatomismo.....	187
4.	CAPÍTULO IV – CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	198
	REFERÊNCIAS.....	201
	APÊNDICES	

## INTRODUÇÃO

Albert Einstein disse que “a coisa mais bela que o homem pode experimentar é o mistério. É essa emoção fundamental que está na raiz de toda ciência e toda arte” (GONÇALVES, 2010, p. 13)<sup>1</sup>.

O ensino de ciências vem passando por diversas mudanças nos últimos anos. Quando se investiga o modelo de ensino dado aos conteúdos ministrados em sala de aula, indica a importância de inserir nas discussões o contexto do aluno e demonstrar uma concepção de ciência como construção humana multicultural, não como retórica de resultados ou algo imutável.

Tais abordagens são decorrentes da participação efetiva dos alunos na discussão dos diversos fenômenos e na construção dos conceitos científicos. Desse modo, o processo de ensino e aprendizagem deve ser constituído de forma dinâmica e interacionista.

Parafrazeando o cientista Einstein, mencionado na epígrafe, pode-se dizer que a coisa mais bela que o pesquisador pode experimentar é o infinito mistério que a ciência se depara para desvelar em sua jornada incansável o universo por meio da criação de modelos. Sendo estes a sua mola propulsora ou emoção fundamental em que se encontra o cerne de todo o saber da ciência e arte.

É, nesse sentido, que vislumbramos unir elementos da ciência e da arte dramática nessa pesquisa, haja vista ambas partirem da mesma emoção criadora e experiência incansável no universo misterioso do conhecimento humano, quer seja individual ou coletivo, da natureza ou cosmo, em cada época construído.

O fenômeno definido a ser trabalhado no plano social da sala de aula envolveu os fogos de artifício, com enfoque na queima e no colorido resultante, que pode nos levar a uma associação com os modelos atômicos cujas explicações descrevem essa dinâmica fenomenológica.

---

<sup>1</sup>Extraído da obra de GONÇALVES, R. C. B. Caio Zip, o Viajante do Tempo, em: Einstein, Picasso, Agatha e Chaplin – como explicar a teoria da relatividade, cubismo, viagem no tempo, e desmascarar um assassino. Ed. Viajante do Tempo, Rio de Janeiro, 2010.

Melo e Lima Neto (2013) investigaram a relação desse fenômeno com concepções adequadas ao modelo científico, quando graduandos em química apresentaram limitações do uso de teorias para explicar situações do cotidiano por alunos do ensino médio, mesmo tendo tido a experiência com uma aula expositiva sobre o desenvolvimento histórico dos modelos atômicos por meio de texto e experimento.

Na mesma direção, Matos e Kiouranis (2015) na vivência de uma oficina sobre os fogos de artifício, ao aplicarem um questionário com alunos do ensino médio, apontaram a presença de obstáculos epistemológicos<sup>2</sup> nas concepções dos estudantes sobre a relação das cores com o conceito de átomo. Esses obstáculos são associados à experiência primeira, à generalização e ao animismo.

Sabe-se que o estudo de modelos atômicos é de suma importância para a química e seu ensino a fim de servir de base teórica para explicitar a estrutura dos materiais e suas transformações, como também para a compreensão de diversos outros conceitos da área de ciências naturais.

Contudo, na prática pedagógica a mediação promovida por discursos de professores, textos e experimentos não parecem ser suficientes para que os estudantes construam modelos mentais adequados à ideia de modelos científicos na explicação de fenômenos do cotidiano enquanto uma criação da humanidade, não como uma visão mais realista (MELO; LIMA NETO, 2013).

Isso se deve às abordagens elaboradas para o estudo do conceito de átomo no processo de ensino e aprendizagem que são meramente ilustrativas, descontextualizadas e memorizadas, muitas vezes limitadas à apresentação de uma linha de tempo do desenvolvimento das ideias dos modelos atômicos principais - Dalton, Thomson, Rutherford e Böhr - sem considerar os embates filosóficos e históricos existentes para a sua elaboração conceitual (MURTA; SILVA; ARAÚJO, 2013).

Quando se fala em compreensão da organização e funcionamento das espécies, seus processos patológicos e tratamentos possíveis pela Biologia

---

<sup>2</sup>Obstáculo epistemológico é uma derivação limitante de um sistema de conceitos sobre o desenvolvimento do pensamento, o que impede um modo de pensamento pré-científico de conceber a abordagem científica. (DOMÍNGUEZ, G. Os dez obstáculos epistemológicos de Bachelard – Resumo. 2016. Disponível em: <<https://psicoativo.com/2016/04/gaston-bachelard-e-os-obstaculos-epistemologicos-resumo.html>> Acesso em: 20 mai. 2021).

Molecular, a Química Medicinal e a Física Médica trouxeram aspectos antes não observados e experimentados na vida. Áreas como a Astro Biologia, Química e Física ampliaram nossa visão do cosmo, da origem do universo, de seus componentes e da vida na terra e fora dela, por intermédio de técnicas como a de espectroscopia, satélites, computadores e seus softwares.

As novas tecnologias eletrônicas de comunicação, tais como a rede de internet, telefonia móvel, entre outras, tornaram o planeta uma grande “aldeia global”<sup>3</sup>, trazendo-nos um novo processo de relações sociais, sobretudo, no mundo do trabalho. Atrelado a isso com essa revolução técnico-científica, visualiza-se também mudanças no fazer das indústrias, em seu modo de produção e quanto à natureza e possibilidades de uso de seus produtos no dia a dia das pessoas.

E, é por isso, que se faz necessário reorientarmos o espaço privilegiado dessas discussões, a sala de aula, visto que é nela que construiremos o saber científico e tecnológico atual e útil à vida dos indivíduos no cotidiano.

Ao olhar para as estratégias de ensino elaboradas no ensino da química quântica, tendo em vista ser o campo de pensar sobre o saber fazer o ensino de química, incluindo os fundamentos e as aplicações da teoria quântica no estudo e transformação da matéria, tem-se aspectos do modelo atômico quântico trabalhados em projetos didáticos (ARROIO *et al.*, 2005) e de programas de computadores (LEAL; MOITA NETO, 2010).

O que nesses dois trabalhos foi possível identificar a ênfase dada às operações matemáticas como uma dificuldade de aprendizagem dos estudantes, devido à complexidade da abordagem tradicional dada a mecânica quântica e a descontextualização dos avanços científicos e tecnológicos com o conhecimento próprio da teoria quântica a partir de problemas do cotidiano e outras ciências.

Esses trabalhos apontaram, então, para as dificuldades dos alunos em atingir um patamar (zona) de racionalidade aplicada para o conceito de átomo. Uma vez que a abstração dele reforça a importância do papel de mediadores para a sua construção.

---

<sup>3</sup>Aldeia global é um conceito criado pelo filósofo Marshall McLuhan e oriundo do avanço das novas tecnologias eletrônicas de comunicação, haja vista estas diminuírem o espaço e tempo entre as pessoas (OLIVEIRA, 2015).

Atrelado a isso, reforçamos a defesa da aprendizagem do modelo atômico quântico na educação superior e básica ser mais complexificada, tendo em vista que a apreensão desse conceito não ser possível por criação de imagens pictóricas, dado o alto nível de abstração intrínseco a ele, a linguagem matemática.

Com isso, torna-se necessário o professor identificar as características das ideias que circulam o pensamento e a palavra desses conceitos em estudo a fim de não tratar o conhecimento como algo pronto e acabado por seu caráter transitório e sua diversidade de formas de pensar e falar o estudo do conceito os quais devem suscitar em seu planejamento e atuação nas aulas de ciências da natureza.

Doravante, parece-nos razoável fundamentar o caminho dessas implicações no processo de ensino e aprendizagem para se ancorar na teoria dos perfis conceituais (TPC), proposta por Mortimer, El-Hani e colaboradores (2014), em contrapartida ao modelo de ensino conhecido como mudança conceitual, por entender que o abandono de concepções prévias para as científicas não prevalece no cotidiano dos alunos. Pois, aprender ciências é mudar o perfil conceitual do estudante, porém nesse novo perfil não está incluso exclusivamente as recentes concepções das ciências.

Dessa forma, ao se basear na ideia de perfil epistemológico de Bachelard (1984), Mortimer (2000) fez essa constatação sobre a heterogeneidade de ideias que permaneciam povoando o contexto da sala de aula, o que evidenciara a não ocorrência de uma mudança conceitual sobre os conceitos de átomo e estados físicos da matéria. Assim, o que poderia acontecer ao estudante é adquirir a capacidade de diferenciar as diversas maneiras de enxergar o cotidiano, com concepções mais sofisticadas, outras generalizações, como diz Vygotsky (2007).

Em termos do perfil, ter em mente as características das zonas de um determinado conceito perfilado. Estas sendo definidas por modos estabilizados de falar e pensar conceitos, as quais expressam compromissos não só epistemológicos, mas também ontológicos e axiológicos<sup>4</sup> em contextos

---

<sup>4</sup>Compromissos epistemológicos, ontológicos e axiológicos são motivos que categorizam a interpretação dos conceitos (SEPULVEDA; MORTIMER; EL-HANI, 2014).

diferentes (MORTIMER, 1995; AMARAL, 2004; SILVA, 2011; MORTIMER; EL-HANI, 2014).

Nessa perspectiva, Mortimer *et al.* (2014) definem conceitos como entidades psicológicas de sistemas de conhecimentos estruturados pela cultura humana. Cabendo ao professor possibilitar sua apropriação a partir de estratégias que permeiem essa visão humanística do saber.

O desenvolvimento da multiplicidade do pensamento e da palavra, bem como sua tomada de consciência encontram espaços e aplicações em processos de conceituação razoavelmente estáveis em contextos pragmaticamente distintos, apresentado compromissos epistemológicos, ontológicos e axiológicos cujos vínculos se dão nos domínios da gênese conceitual de Vygotsky, o sociocultural, o ontogenético e o microgenético<sup>5</sup>.

Com isso, ressaltamos a necessidade de compreensão dos ontoconceitos<sup>6</sup> das ciências da natureza, matéria, energia e vida, através de uma nova teoria de ensino e aprendizagem capaz de ressignificar e dar sentido as múltiplas vozes emergidas, de modos diferentes ou não, em cada cultura.

É nesse entorno que a estrutura da teoria dos perfis conceituais vem sendo constituída pelas pesquisas desenvolvidas de proposição de perfis conceituais e a emergência deles em processos de ensino e aprendizagem, baseados em estudos da linguística, da escola psicológica histórico-cultural e da educação em ciências/química.

O estudo das concepções históricas e de estudantes sobre átomos/modelos atômicos foi realizado por Mortimer (1994; 2000) com o objetivo de analisar a evolução conceitual em sala de aula, em contraposição ao modelo de ensino por mudança conceitual proposto por Posner e colaboradores (1982), o qual propunha a aprendizagem científica como o abandono das concepções alternativas.

As visões atribuídas de propriedades macroscópicas aos átomos, compreendendo a zona substancialista, da resistência em aceitar a ideia do vazio entre as partículas da matéria, enquadrando-se na zona sensorialista e

---

<sup>5</sup>Domínios genéticos em Vygotsky são dimensões dos “processos de transformação do desenvolvimento humano” (PEREIRA, 2020, p. 13).

<sup>6</sup>Ontoconceitos podem ser considerados categorias muito amplas, tais como matéria, vida, mente e sociedade, que se refere a tipos mais gerais de objetos científicos, os quais são ao mesmo tempo ontologia de objetos. (COUTINHO; EL-HANI; MORTIMER, 2014, p. 115 – **tradução nossa**).

substancialista, e de que o átomo é partícula fundamental da matéria, envolvendo a zona de átomo clássico, foram investigadas por Mortimer (1994; 1995).

Contudo, somente em sua obra do ano 2000, ele propõe o perfil conceitual de átomo (PCA) com quatro zonas: sensorialista, substancialista, átomo clássico e átomo quântico. Esta última apresentada por uma distinção ontológica abstrata por ser explicada usando modelos matemáticos para o átomo.

O trabalho de Tavares (2008) apontou acerca do papel do professor na difusão histórica da ciência por meio de abordagens argumentativas e discorreu sobre o fato do conceito de átomo não se relacionar aos fatos cotidianos, tornando-se resistência a sua aceitação pela comunidade científica e, de maneira semelhante, na sala de aula.

Em outro estudo, Murta, Silva e Araújo (2013) investigando modos de pensar de alunos da educação básica sobre as transformações da matéria, a partir da passagem histórica do vitalismo para o mecanicismo, tomando por base o PCA, estabeleceram um paralelo entre os entraves encontrados nas concepções dos estudantes com aquelas da história da ciência, na transição da visão de mundo vitalista para a visão mecânico-corpuscular de Boyle.

Com esse estudo, os autores puderam visualizar em respostas dadas pelos estudantes diferentes compromissos categorizados para as zonas sensorialista e substancialista advindas desse período histórico, nessa ordem, a saber: vitalista e mecânico-corpuscular.

Na dissertação de Lopes (2017) foram realizadas atividades experimentais espectroscópicas para compreender a evolução do perfil conceitual de átomo de estudantes do ensino médio. No entanto, constatou-se que eles ainda apresentam modos de pensar das zonas sensorialista e substancialista, porém, ainda assim, foi possível inferir que a proposta tem grande potencial para a estabilização da zona quântica do átomo na sala de aula.

Nessa pesquisa, defendemos que a construção das zonas científicas do PCA, sobretudo, a quântica na dinâmica da sala de aula seja possível através da inserção do estudante na elaboração de ideias; princípios; experimentos; e embates filosóficos, sociais, políticos e culturais vivenciados pelos cientistas da

época em que produziram, a fim de capturar a imaginação do aprendiz ao cenário historicamente construído dos modelos atômicos.

Ao resgatar o percurso histórico do modelo atômico, é possível encontrar meios de superar as visões distorcidas da atividade científica, na medida em que possibilitamos a construção da cultura científica escolar, valorizando o papel da ciência e da tecnologia no desenvolvimento da sociedade e cultura. Isso permitirá capturar a imaginação e atenção do estudante no processo de ensino e aprendizagem, assim como seu posicionamento diante de fatos do cotidiano.

Dessa forma, o desenvolvimento desta pesquisa visou buscar colaborações com a teoria dos perfis conceituais, complementando os estudos sobre o perfil conceitual de átomo, através de seu aprofundamento histórico, envolvendo aspectos do desenvolvimento da teoria quântica da matéria, nas proposições dos modelos atômicos nos séculos XIX e XX – aspecto não emergido no trabalho de tese do Mortimer (1994), já que ele apontou apenas para a emergência de zonas do PCA até a visão científica clássica, e inovador nessa pesquisa a partir da profunda dimensão histórica do conceito e do uso da estratégia de estudo de caso histórico (ECH), baseado nos trabalhos de Stinner *et al.* (2003) e Stinner (2008).

Para isso, elaborou-se um estudo de caso histórico dos modelos atômicos envolvendo o fenômeno de queima dos fogos de artifício com a finalidade de desenvolver a argumentação envolvida nele, pelo aprofundamento histórico investigativo e relações das aplicações da teoria quântica no desenvolvimento social contemporâneo, bem como por narrativas de contextos históricos e atuais dramatizadas.

Assim, baseado no enfoque de estudo de caso histórico defendidos por Stinner *et al.* (2003) e Stinner (2008), aproximamos esse estudo com a teoria do perfil conceitual defendido por Mortimer *et al.* (2014) ao argumentarem que a utilização do perfil conceitual (PC) em sala de aula, baseando-se na história da ciência (HC), torna-se um eixo orientador do processo de ensino e aprendizagem.

Isso contribui para superar o ensino dogmático ainda predominante nas escolas por meio de vivências que mostrem as rupturas que ocorreram ao longo da história de produção desse conhecimento, revelando seu caráter

essencialmente dinâmico, imbuindo de crenças, verdades e justificativas de cada época.

Nesse contexto, formulamos o problema de pesquisa como a seguir: como um estudo de caso histórico pode favorecer a construção de significados e sentidos para o conceito átomo, baseado na teoria dos perfis conceituais, sobre a queima dos fogos de artifício?

Assim, delineamos o seguinte objetivo geral: Analisar a heterogeneidade de modos de pensar e formas de falar o conceito átomo quando se utiliza o estudo de caso histórico e a teoria dos perfis conceituais em uma abordagem de ensino sobre a queima dos fogos de artifícios. E, como objetivos específicos: 1 – Estruturar a heterogeneidade de modos de pensar e formas de falar em uma matriz semântica do conceito átomo; 2 – Propor e aplicar um estudo de caso histórico relacionado à teoria de ensino e aprendizagem dos perfis conceituais para o conceito átomo sobre a queima dos fogos de artifício; 3 – Compreender a emergência de zonas do perfil conceitual de átomo em contextos de ensino de atomística em seu desenvolvimento histórico articulados à queima dos fogos de artifício.

Diante disso, pode-se inserir esta pesquisa na linha de pesquisa processos de construção de significados em ciências, do Programa de Pós-Graduação em Ensino de Ciências da Universidade Federal Rural de Pernambuco. Uma vez que a evolução conceitual sobre o modelo atômico a partir da teoria do perfil conceitual e de uma estratégia contextualmente histórica e atual, como a de estudo de caso histórico, propostos por Mortimer (1994; 2000) e Stinner *et al.* (2003), respectivamente, é o ponto central para o desenvolvimento dessa investigação.

Não obstante, a inclusão de aspectos histórico-culturais desse conceito e princípios da teoria quântica pode possibilitar contribuições para os processos de conceituação e contextuais, sobretudo, os da história da ciência no ensino com base na teoria dos perfis conceituais.

A organização dessa dissertação foi feita em quatro capítulos, a saber: fundamentação teórica, metodologia, análise de dados e considerações finais.

No primeiro capítulo apresentamos o debate teórico-metodológico da TPC, as bases filosóficas, a proposição de perfis conceituais, a formulação e caracterização de zonas do PC e a aprendizagem científica para esse

programa de pesquisa. Além disso, centralizamos principalmente o olhar sobre as zonas do PCA, propostas por Mortimer (2000), o estudo de caso histórico enquanto estratégia contextualizada da história da ciência e as concepções históricas e informais sobre o conceito de átomo.

No capítulo dois, explanamos o desenho metodológico, enquadrando-o dentro do paradigma qualitativo, de método descritivo e delineamento teórico-empírico. Assim como o contexto e sujeitos de pesquisa, a estruturação aplicada do estudo de caso histórico como propõe Stinner *et al.* (2003), os instrumentos e a técnica de análise dos dados.

No capítulo três, tem-se os elementos que compõe a sistematização polissêmica do conceito átomo. Nele ainda continua a análise dos sentidos e significados em diálogo com as zonas do PCA presentes nas respostas de um questionário e em recortes de episódios das interações discursivas vivenciadas na aplicação do ECH. Por fim, propõe-se a primeira matriz semântica do PCA balizada pelo conjunto de dados oriundos de toda dinâmica teórico-metodológica desse trabalho.

No capítulo quatro, apresentamos as considerações finais sobre a contribuição desse estudo à TPC, no que tange aos processos de conceituação em ciências para o conceito de átomo através do uso de um estudo de caso histórico sobre a queima dos fogos de artifício, bem como as implicações formativas para estudantes e professores quanto ao planejamento do ensino e aprendizagem na construção de sentidos e significados partilhados no contexto da sala de aula e seus desdobramentos investigativos futuros.

A seguir, explanamos detalhadamente os fundamentos teórico-metodológicos dessa pesquisa de mestrado a fim de compreender o percurso desenhado para o entendimento do objeto em estudo.

## CAPÍTULO I

### 1. A Guisa Teórica e Metodológica da Teoria dos Perfis Conceituais no Ensino e na Aprendizagem do Conceito de Átomo

Sem a cultura, e a liberdade relativa que ela pressupõe, a sociedade, por mais perfeita que seja, não passa de uma selva. É por isso que toda a criação autêntica é um dom para o futuro (ALBERT CAMUS).<sup>7</sup>

O debate teórico e metodológico deste capítulo cuja criação autêntica abriu outros caminhos possíveis para a comunidade a que se vincula e interessa os estudos voltados à educação em ciências e, especificamente, nesse trabalho, a da química, sobre o saber-fazer a práxis pedagógica<sup>8</sup> estruturada e analisada com base nos diversos modos de pensar e formas de falar o conceito átomo.

A teoria dos perfis conceituais (TPC) foi consolidada no campo da educação científica com a publicação da obra “*Conceptual Profile: a Theory of Teaching and Learning Scientific Concepts*” por Mortimer, El-Hani e outros pesquisadores (2014) fomentadores desse programa<sup>9</sup> de pesquisa nas últimas quase três décadas.

O conceito e os processos de conceituação em ciências são elementos fundantes dessa perspectiva teórica no ensino e na aprendizagem, haja vista considerar as diversas visões de mundo sócio-histórico-culturais, sejam as

---

<sup>7</sup>CAMUS, A. Pensador. Disponível em: <<https://pensador.uol.com.br/frase/NTIxNA/>>. Acesso em: 20 mai. 2016.

<sup>8</sup>A práxis pedagógica representa, dentro deste contexto, a prática em constante movimento, onde as atividades que a permeiam, permitem que o professor possa, não só conduzir o processo de ensino e de aprendizagem teoricamente fundamentado, mas que contribua para a análise desta mesma teoria, trazendo da prática elementos que contribuam para o desenvolvimento e avanço da teoria (GIARETTON; SZYSMANKI, 2013, p. 15448).

<sup>9</sup>O termo “programa” que utilizo nessa dissertação se relaciona à teoria dos perfis conceituais, ancorada na epistemologia de Imre Lakatos sobre programas de pesquisas por ser referir ao núcleo metodológico que sustenta o progresso dos estudos nessa perspectiva teórica (CHALMERS, 1993).

estudantis, de comunidades de práticas e/ou as de outras naturezas-culturas<sup>10</sup> como as tradicionais, inclusive, a da científica, circulando no plano social da sala de aula.

Dessa forma, na TPC aprender cientificamente é enriquecer o pensamento conceitual e tomar consciência da multiplicidade deles presentes em contextos específicos os quais se vinculam compromissos epistemológicos, ontológicos e axiológicos dos conceitos por meio de domínios do desenvolvimento humano genético em seus processos mentais superiores: ontogenético, sociocultural e microgenético. Aspectos que serão explicitados mais adiante nos sub tópicos 1.1.2, 1.1.3 e 1.1.4.

O escritor Albert Camus ressalta o poder criativo das múltiplas naturezas-culturas presentes na nossa construção enquanto espécie humana sócio-histórico-cultural, pois o desenvolvimento da cognição é intrinsecamente ligado ao processo de se humanizar.

Parafraseando o filósofo, escritor, dramaturgo, ensaísta e jornalista citado no início do capítulo: sem a cultura escolar, e a liberdade relativa de expressar suas múltiplas vozes, a comunidade de educação em ciências, por mais perfeito que parecesse com o modelo de ensino por mudança conceitual, não passaria de uma selva de concepções emaranhadas. É por isso que a teoria de ensino e aprendizagem dos perfis conceituais se tornou uma criação autêntica como um dom para o futuro enquanto um novo programa de pesquisa da educação em ciências.

Assim, direciono a teia de ideias na elaboração dialógica seguinte ao abordar a teoria dos perfis conceituais, imbricadas na sala de aula, em seu planejamento e vivência da práxis pedagógica sobre o conceito de átomo em uma perspectiva histórico-cultural das ciências, quando se engaja em um estudo de caso histórico.

---

<sup>10</sup>O uso da expressão “naturezas-culturas” nessa pesquisa imbrica na teoria dos perfis conceituais a relação conceito-contextos indissociáveis baseado na perspectiva de Vygotsky quando argumenta que a cultura e a natureza se expressam através de processos que são ao mesmo tempo autônomos e mutuamente constitutivos: se a natureza, essencialmente histórica para os seres humanos, fornece a base para o desenvolvimento cultural, este último redimensiona as faculdades herdadas, tornando-as conscientes (NUERNBERG; ZANELA, 2003, p. 86).

## 1.1 – A teoria dos perfis conceituais

Mortimer (1994) em seu trabalho de tese propõe um modelo explicativo alternativo, chamado inicialmente de noção do perfil conceitual, que se contrapõe ao modelo de mudança conceitual, proposto por Posner e colaboradores (1982), a partir da noção de perfil epistemológico proposto por Bachelard (1984).

Na busca de compreender o movimento de concepções existentes nas salas de aulas de ciências/química sobre os conceitos científicos de átomo e estados físicos da matéria, Mortimer (1994; 1995; 2000) constatou a não ocorrência da mudança conceitual, mas sim a mudança do perfil conceitual na visão dos estudantes, uma vez que as novas concepções científicas permaneciam juntas às do cotidiano deles ao longo da sequência de atividades.

Mortimer (2000) também apontou para a impossibilidade e contradição advinda da apropriação de um modelo filosófico ser transposto na prática educativa por um outro modelo de ensino, pois este possui distinções significativas, haja vista aquele ocorrer em uma cultura científica e este de sua enculturação<sup>11</sup>.

Com o desenvolvimento de estudos sobre os perfis conceituais vinculados aos grupos de pesquisa de Mortimer e colaboradores (2014) novos aspectos filosóficos, teóricos e metodológicos passaram a planejar as investigações desse programa de pesquisa consolidado com a publicação da obra acima citada.

Para eles, o processo de conceitualização científica não se dá pelo abandono de ideias prévias, mas pela convivência ou coexistência heterogênea delas na cultura escolar<sup>12</sup>, enquanto modos de pensar e formas de falar frequentes e presentes pragmaticamente na história-cultural da filosofia e da

---

<sup>11</sup>O termo indica que os alunos “possam também fazer parte de uma cultura em que as noções, ideias e conceitos científicos são parte de seu corpus” (SASSERON; CARVALHO, 2011, p. 60).

<sup>12</sup>Centro das diferenças culturais e relações de poder [...], **pois (inclusão nossa)** a escola é não apenas um espaço de encontro, aceitação e contemplação das diferenças, antes de exploração e negociação de tensões, [...] **onde (inclusão nossa)** as mudanças que estão a ocorrer, resultantes do confronto e da emergência dessa diversidade na escola e nas comunidades, precisam ser desocultadas (SILVA, 2006, p. 214).

ciência, como também das experiências do cotidiano dadas aos conceitos para explicar fatos e fenômenos.

A heterogeneidade do pensamento e da fala é organizada em modos estabilizados denominados de zonas dos perfis conceituais, diferenciadas pelos compromissos epistemológicos, ontológicos e axiológicos em que são vinculados, bem como constituídas pelos domínios ontogenéticos, sociocultural e microgenético na educação formal e/ou não formal, advindos de sentidos e significados construídos pelos conhecimentos filosóficos, históricos e/ou atuais elaborados pela cultura popular, tradicional e científica.

Nesse entorno, apresentamos a seguir uma síntese do campo teórico e metodológico em que se sistematiza a teoria de ensino e aprendizagem dos perfis conceituais, ao associá-la à referenciais que mostraram convergir pressupostos e características sócio interacionistas e histórico-culturais, como a teoria da linguagem do círculo de Bakhtin e do desenvolvimento das funções mentais superiores de Vygotsky.

Para tornar claro a textualização, propõe-se os seguintes tópicos: aproximações teóricas e metodológicas dos perfis conceituais; aprofundando relações teóricas para o enriquecimento ou a mudança do perfil conceitual; compromissos epistemológicos, ontológicos e axiológicos: categorização de zonas dos perfis conceituais; domínios genéticos de Vygotsky: constituição de zonas dos perfis conceituais; conceitos perfilados na literatura; o perfil conceitual de átomo.

### *1.1.1 – Aproximações teóricas e metodológicas para a proposição dos perfis conceituais*

A aproximação do debate dos perfis conceituais à psicologia russa ou histórico-cultural de Vygotsky (1896-1934) e seus domínios genéticos, apresentados por Wertsch (1985) permite compreender a origem e o desenvolvimento conceitual por meio de seus processos mentais superiores. Sendo estes, bases teóricas para a compreensão de uma aprendizagem sócio interacionista, baseada na filosofia do marxismo materialista histórico-dialético.

Os aspectos da estrutura da linguagem, baseado em categorias advindas de trabalhos de Bakhtin (1895-1975), construídos na dinâmica da sala

de aula pelas interações discursivas entre professores e alunos e entre estes, por exemplo, sobre a termodinâmica química investigada na tese de Amaral (2004) quanto ao perfil conceitual de entropia e espontaneidade, trouxe a análise de discursos socialmente construídos entre esses indivíduos no contexto específico de estudo e foi possível identificar como as novas concepções podem coexistir com outras formas de pensar e falar o mesmo conceito.

Mortimer *et al.* (2014) argumentaram que o ensino e a aprendizagem na TPC, dentro da abordagem bakhtiniana é entendida como a produção de discursos ou enunciações oriundos do ato do pensamento ou do significado criado, de natureza dialógica, interdependente e subjetiva dados no formato das respostas pelos estudantes a cada situação em estudo, e do grau de elocução ou persuasão do discurso nesse processo de entendimento.

A teoria da linguagem do círculo de Bakhtin (1929) – como base para a compreensão sobre a dialogicidade e intersubjetividade presentes na produção de enunciações; a teoria de Vygotsky (1962) sobre o desenvolvimento das funções mentais superiores, como base para a investigação da aprendizagem; e a análise das interações discursivas (Mortimer e Scott, 2002) para pesquisa da dinâmica discursiva em sala de aula, o que possibilita a análise de formas de falar associadas a modos de pensar (Mortimer e Wertsch, 2003). Este último aspecto está fortemente relacionado ao pressuposto de que aprender ciência implica na aquisição e domínio da linguagem social da ciência escolar, que podem ser constituídos a partir da produção de discursos em sala de aula (Mortimer e El-Hani, 2013). (BEZERRA; AMARAL, 2019, p. 43)

Nesse contexto, a aprendizagem científica se dá pela negociação dos significados atribuídos na ciência com o arcabouço ecológico conceitual do aluno, compreendido pelas concepções informais, na medida em que a elocução discursiva de outros integra os nossos próprios discursos contrários a eles ou não.

Dessa forma, a construção do conhecimento se dá significativamente pelo envolvimento ativo do estudante nos processos de negociações enunciativas de suas ideias construídas entre os indivíduos, pois eles garantem importantes abordagens comunicativas no processo de aprendizagem em aulas de ciências do tipo dialógica interativa internamente persuasiva.

Os aspectos relacionados a metodologia de sistematização dos PC, encontra-se em Mortimer, Scott e El-Hani (2011), Amaral e Mortimer (2011), Sepulveda, Mortimer e El-Hani (2013), Silva e Amaral (2013), Mortimer *et al.* (2014) e Reis, Sepúlveda e El-Hani (2017) a discussão relevante sobre os modelos planejados e validados nas pesquisas para enquadrá-los no programa de pesquisa dos perfis conceituais.

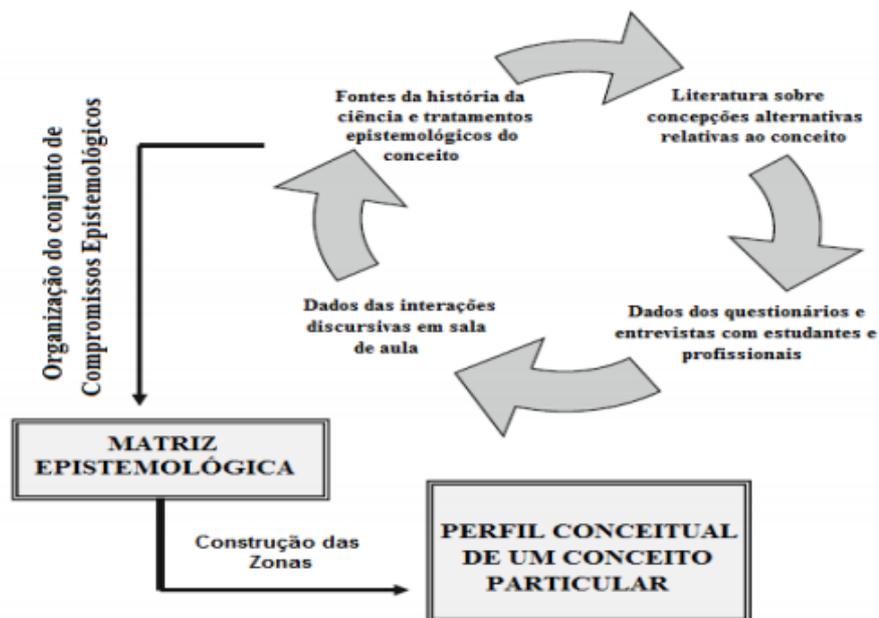
Embora as etapas de elaboração dos perfis conceituais sejam bem descritas nos moldes citados pelos autores, cada pesquisador (a) vem adequando seu estudo às particularidades das questões envolvendo o seu objeto de estudo.

Mortimer *et al.* (2014) definiram critérios para perfilar um conceito, a saber: assume a centralidade no estudo de uma ciência, apresenta heterogeneidade do pensamento e da fala, envolvendo a linguagem cotidiana e científica, e pode ser utilizado em análises da linguagem na sala de aula.

A estrutura lógica das etapas de constituição das zonas dos perfis conceituais, organiza-se em quatro etapas dialéticas e relacionadas entre si para a formação da matriz epistemológica (**figura 1**), como apresentam Mortimer *et al.* (2014) adaptada a partir dos trabalhos de Sepulveda (2010) e Sepulveda, Mortimer e El-Hani (2013) sobre as implicações dessa proposta metodológica na construção do perfil conceitual de adaptação e o ensino de evolução. Ambas relacionadas à três dos domínios da gênese conceitual do psiquismo humano, segundo Wertsch (1988): ontogenético, sociocultural e microgenético.

Contudo, nessa dissertação trouxe a figura traduzida por Simões Neto (2016), a partir da versão em língua inglesa produzida por Mortimer e El-Hani (2014), os quais inferem ser uma adaptação da figura produzida por Sepulveda, Mortimer e El-Hani (2014) na mesma obra.

**Figura 1:** Metodologia de proposição dos perfis conceituais.



Fonte: Simões Neto (2016, p. 46).

Do exposto da figura 1, em síntese, tem-se a metodologia de proposição dos perfis conceituais que vem sendo balizada pela comunidade que investiga o processo de organização do conjunto de compromissos epistemológicos que estrutura a matriz epistemológica para os diversos modos de pensar e formas de falar o PC de um determinado conceito específico, constituídas em zonas, através da dinâmica circular dialética de dados oriundos dos aspectos histórico-epistemológicos, das concepções alternativas, as quais preferimos atribuir de informais, presentes na literatura, respostas de questionários e entrevistas, como também das interações discursivas na sala de aula pelos participantes envolvidos, quer sejam alunos ou profissionais.

Atualmente, como se apresenta nos trabalhos de Reis, Sepúlveda e El-Hani (2017), e Reis (2018) a denominação de matriz semântica, em vez de matriz epistemológica, como disposto em Mortimer *et al.* (2014), por entender que o conceito e os processos de conceitualização são identificados pelos diversos compromissos epistemológicos, ontológicos e axiológicos em que se vinculam fortemente aos modos razoavelmente estáveis do pensamento verbal.

Essas formas de ver a realidade estruturadas em zonas, abrangem uma gama de significados estabilizados atribuídos a elas, o que as diferenciam e demarcam o movimento do processo de conceitualização de cada indivíduo. Além

de poder ocorrer a predominância de alguma dessas zonas em um indivíduo específico (SOARES *et al.*, 2007).

A constituição de zonas dos perfis conceituais se inicia pelos estudos da literatura envolvendo o desenvolvimento histórico da ciência e sua concomitante análise epistemológica, em fontes secundárias; e concepções informais sobre o conceito, oriundos da literatura e questionário aplicado no campo de estudo. Isso compreende os domínios sociocultural e ontogenético, nessa ordem, do processo de conceitualização da psicologia histórico-cultural em Vygotsky.

Com este enfoque, busca-se as unidades de sentido que constituirão as categorias as quais expressam os modos de pensar e formas de falar de cada zona do perfil em estudo. Nessa etapa, pretende-se encontrar os compromissos epistemológicos, ontológicos e axiológicos presentes no discurso dos estudantes e na história da ciência.

Sabe-se que as características individuais de cada zona do perfil conceitual em estudo apresentam temas epistemológicos distintos e são constituídos por “um conjunto de compromissos sistematizados e nomeados em categorias expandidas e organizadas na matriz semântica” (REIS; SEPULVEDA; EL-HANI, 2017, p. 4).

Ao mapear e situar a emergência de zonas do perfil em contextos de ensino e aprendizagem específicos com a aplicação de questionários, de entrevistas individuais ou em grupos focais, e de estratégias em sala de aula vídeo gravadas, com professores em formação inicial ou continuada e/ou alunos, compreende-se o domínio microgenético do processo de conceitualização da psicologia histórico-cultural de Vygotsky.

Esse aspecto permite se delimitar a construção de categorias anteriormente definidas na revisão da literatura histórica da ciência e de concepções de estudantes do conceito em estudo ou em novas formas de falar que possam emergir nas vivências formativas formais e/ou não formais, até mesmo em comunidades de práticas situadas.

Mortimer, Scott e El-Hani (2011) a despeito disso expuseram que as categorias traçadas para cada perfil modelado são as mesmas no âmbito da educação científica, pois são fortemente ligadas ao contexto escolar, mesmo que o perfil de cada indivíduo seja diferente, como discorreu Rodrigues e Silva

(2006, p. 14): “embora o perfil seja característico de cada indivíduo, as categorias que definem suas zonas podem ser consideradas como universais e potencialmente compartilháveis pelos indivíduos de uma cultura”.

Mortimer e Scott (2002) elaboraram a estrutura analítica do discurso, a partir da teoria da linguagem de Bakhtin (1986) como análise das ações dos modos de falar, dos focos de ensino e das abordagens comunicativas estabelecidas na sala de aula, uma vez que o discurso enquanto linguagem verbal socializada é a apropriação da internalização dos processos mentais superiores, oriundos das culturas científicas sócio-histórico construídas.

Para analisar um episódio de ensino com essa ferramenta se alinham os processos de enunciação por meio de atos do pensamento e da fala, expressas por entonação, gestos, ações verbais ou não, símbolos e palavras/discursos que trazem significações, composto por signos e instrumentos mediadores promotores das operações mentais superiores como a consciência, o controle e a abstração.

Desse modo, a análise das interações discursivas inter-relaciona cinco aspectos, a saber: Focos de ensino (intenções do professor e conteúdo); Abordagem (tipos de abordagem da comunicação); e Ações (padrões de interação e intervenções do professor).

Na última etapa da formação da matriz semântica de proposição dos perfis conceituais é possível observar a aprendizagem em ciências, definida pela ampliação, enriquecimento ou hibridismo das zonas dos PC de cada estudante, denominada de processo social e cognitivo; e que pela tomada de consciência dele sobre o seu perfil e o contexto de aplicação do discurso para cada zona na qual se encontra também forte valor pragmático, denomina-o de processo metacognitivo.

A tomada de consciência do seu próprio perfil é possível “privilegiar determinados mediadores e linguagens sociais, como aqueles mais adequados a determinados contextos” (MORTIMER, 1996, p. 33), o que para essa investigação não faz parte da compreensão do objeto de estudo.

Após, continuamos as considerações teóricas sobre elementos discursivos da linguagem e aprendizagem na TPC cujo debate se faz necessário para aprofundar às questões de pesquisa na sala de aula no que tange ao seu enriquecimento ou mudança do perfil conceitual.

### *1.1.2 - Aprofundando relações teóricas para o enriquecimento ou a mudança do perfil conceitual*

A teoria da aprendizagem construída por Lev S. Vygotsky buscou definir um modelo que pudesse dar suporte à compreensão de como se dava o desenvolvimento dos processos mentais superiores para a formação humana enquanto ator social historicamente situados.

Oliveira (2008) redireciona o diálogo apresentado até então pela psicologia russa, emergindo em Vygotsky, o primeiro expoente fundador dessa perspectiva. O que para ele se pautava em três princípios básicos: 1 – entende-se que as funções psicológicas são desenvolvidas pela atividade cerebral, portanto, ancora-se na condição biológica; 2 - desenvolve-se somente as funções psicológicas por meio das interações sociais e históricas que a pessoa estabelece com o meio externo a ela; 3 – esse processo de interação entre indivíduo e ambiente se dá por sistema de símbolos mediadores.

A autora ainda esclarece que a mediação simbólica se dá por meio de ferramentas que auxiliam as atividades humanas. Para Vygotsky esses elementos responsáveis pela mediação são os instrumentos e signos. Sabe-se que a instrumentação tem destaque na teoria em sua relação com o marxismo, onde a sociedade se constitui no exercício do trabalho.

Os signos são instrumentos mediadores, porém psicológicos, haja vista direcionarem ao interior do indivíduo as ações necessárias aos seus processos psicológicos de memória ou atenção, podendo ser uma imagem, uma palavra, uma situação, objeto ou evento.

As ideias de Vygotsky e Bakhtin tendo como base o cerne de suas questões, a saber: os signos, a relação de linguagem e pensamento, e, a arte. O entendimento da consciência se dá na interação dialógica histórico-cultural das pessoas sobre toda e qualquer realidade física de criação social e/ou natural.

Os signos são elementos simbólicos da linguagem em que se constituem de significados porque apresentam determinada ideologia dada aos objetos físicos. Assim, rompe-se com o subjetivismo ideal e o objetivismo

abstrato, tornando-se todos esses corpos uma realidade física concreta ou abstrata materializada objetivada.

Consoante Ponzio (2016), entende-se o signo somente na ação humana interacionista dialética, visto que seu significado está vinculado à abordagem comunicativa dada nas respostas ou interlocuções.

Com isso, é possível direcionar os conceitos científicos enquanto signos abstratos, porém pragmaticamente imbuídos de valores materializados objetivamente por sentidos ideológicos. Além disso, os fenômenos ou eventos também são constituídos de signos ideológicos materializados da mesma forma que os abstratos, por ações dialógicas compartilhadas nos grupos sociais.

Para Bakhtin (2006) a consciência de novos signos ocorre por meio de um processo semiótico ou do domínio do significado ideológico deles em uma interação no plano social da linguagem. A partir deles, pode-se distinguir as variadas formas de abordagens da comunicação. Uma vez que sua existência se materializa no ato comunicativo.

Diante disso, fica claro que a consciência é uma atividade complexa envolvendo aspectos éticos, sociais, estéticos, axiológicos, emotivos, intencionais e outros como argumenta Vygotsky.

Ponzio (2016) traduz que esse desenvolvimento é capaz de modelar as formas de pensar e falar sobre e do mundo diferentemente e ampliada. As ações mediatizadas pela linguagem e pelo falar, chamadas de estímulo-meio, o dito instrumento ou estímulo artificial, possibilitam que a relação dos processos psíquicos elementares, o estímulo e a resposta, deem um salto qualitativo na dialética vivida para os processos mentais superiores.

Assim, o autor aponta para a ideia de consciência enquanto interiorização de ações desenvolvidas pelos indivíduos a partir das interconexões de suas vivências sociais, históricas e culturais, os quais estão inseridos em um ambiente concreto que os conferem comportamentos com sentidos coletivos e estruturados por modelos de pensamento-atividade, imbuídas de múltiplas finalidades e valores.

Os processos de conceituação se dão à medida que a linguagem externa passa a ser interna e cheia de sentido vinculado ao contexto e significados de palavras compartilhadas por grupos culturais de uma mesma

comunidade. E todo esse mecanismo se dá em um plano de práticas sociais de instrução ou ensino e aprendizagem para desenvolver o psiquismo humano.

A aprendizagem nessa visão é entendida pela interiorização da linguagem em ações compartilhadas por grupos sociais, construídas pela experiência histórica. Quando se exterioriza o pensamento produz a fala, ou melhor, a palavra associada àquela atividade coletiva.

Dessa forma, o processo de pensar é fruto do ato do pensamento verbal e a expressão da palavra é resultante do falar. É de onde emerge o discurso o qual tem finalidade de comunicação nas relações sociais.

Isso faz com que olhemos para o desenvolvimento do pensamento e da linguagem em sua expressão dialógica, o discurso, através de negociações enunciativas para se ter indícios dos processos de conceituação ou mudanças de significados, compreendidos por generalizações do fenômeno que une o pensamento e a palavra. Não obstante, sabe-se que esse percurso pode ser ampliado ou diminuído e enriquecedor ou restrito.

Além disso, Ponzio (2016) deixa claro que a palavra não apresenta somente um significado, visto que este é constituído de signo e significante enquanto estrutura, mas polissêmico no entender semântico da palavra, pois se atribui novas ideias e funcionalidades em contextos específicos.

É na entonação que se compreende o caráter descrito nas enunciações, haja vista expressar o sentido entre o que é falado e não falado, entre a linguagem verbal e não verbal. Nela se depreende os valores atribuídos ao discurso, dando uma organicidade geral dele. Portanto, ela se torna fundamental para identificar o significado subentendido nas abordagens comunicativas.

Para Vygotsky, o desenvolvimento mental da criança vai de palavras com generalizações mais simples ou primitivas até um grau maior, a formação conceitual, por meio das seguintes funcionalidades: atenção por interesse, memória lógica, abstração, comparação e diferenciação. Para ele esse processo se dá de forma indireta, em um contexto linguístico, ao se basear em Tolstoy.

Dessa forma, é factível a ideia que a conceituação não espontânea ou em um saber científico está intimamente ligada e influenciada pelas concepções espontâneas. Sendo diferenciados a partir da experiência e atitude

do estudante no processo educativo frente aos objetos em estudo e sua modulação se dá a partir de uma ação executada em um contexto específico.

Ainda é possível apontar que os mecanismos de semelhanças entre as ideias possibilitam a elaboração de generalizações, enquanto as distinções não promovem. Assim, entende-se que somente nas ações das experiências os estudantes expressam significados e com consciência antes delas e de sua visão imagética.

Ainda segundo Vygotsky, a atenção direcionada ao interesse e com controle do sujeito é o primeiro espaço de alcance dos mecanismos do pensamento e da linguagem, depois a memória mecânica mudada para a lógica por meio do sentido e significado construído e, enfim, as diferenciações de palavras vão evidenciando no plano social da ação humana aproximação de significados ou generalizações mais amplas.

Outro aspecto importante a destacar no ato do pensamento é a percepção da atividade cerebral como processo metacognitivo, quando se tem consciência do que se pensa e fala.

Para se chegar a esse nível, com certeza, o estudante atinge um grau de generalização que implica numa forma diferente de ver o objeto e atuar sobre ele. Portanto, é possível inferir que o domínio conceitual científico se evidencia quando há busca por recordação ou imaginação do aprendiz, pois é nesse momento em que ele denota reflexão sobre o conceito.

Ao entender a conceituação científica como sistemas de conceitos. O que no entender de Vygotsky a aprendizagem está interdependente do desenvolvimento, e, vice-versa. Para que o sujeito atinja a formação conceitual mais elevada, ele deve desenvolver as funções da consciência, do controle e da abstração.

Ao olhar para linguagem oral e escrita, encontramos funcionalidades com desenvolvimentos distintos, de modo muito natural, devido às experiências do sujeito frente ao objeto para que possam significar novas formas de pensar e falar e, assim, atuar de uma maneira nova.

Esses componentes da linguagem só poderão se alinhar se houver no processo de ensino e aprendizagem uma organicidade e semântica deliberada. É por meio de consciência e controle que generalizações específicas são recriadas em novas consciências e controles.

Logo, a palavra dita indica que o indivíduo apresenta o conceito, mas ele pode não ter significados construídos sobre eles em seu pensamento. O que remete a atitude mediadora do professor diante do contexto que embate a significação mais generalizada.

Para Vygotsky, apenas a função da atenção interessada é capaz captar múltiplos elementos envolvidos no desenvolvimento conceitual ou semântico, tais como o meio, os sons e a representação atribuída à linguagem verbal ou à palavra.

Deveras, pode-se assumir a vertente de equivalência e reformulação dos conceitos a partir de outras significações, tornando o desenvolvimento conceitual um espectro semântico, melhor dizendo, formas variadas de pensar e falar as coisas do universo.

A confluência entre as generalizações expressadas pela fala sobre o mesmo conceito, traz o hibridismo conceitual, o qual pode se ancorar de forma coordenada, subordinada ou que subjaz as outras. Nesse sentido, entende-se o sistema conceitual a medida de cada generalização e o confronto que se evidencia para significar em uma nova forma de ver e expressá-lo.

Ainda se faz necessário observar outras operações ou funções mentais que o cérebro executa no ato do pensamento, os juízos, as sínteses ou as conclusões e as semelhanças, como percurso coordenado para novas generalizações. Sendo assim, é o sistema conceitual quem diferencia os conceitos não espontâneos ou científicos dos espontâneos.

Na filosofia da linguagem, as concepções espontâneas apresentam signos ideológicos do cotidiano, chamada de infraestrutura, e as concepções não espontâneas trazem aqueles do discurso formalista da sistematização de saberes, denominada supra estrutura.

Nesse campo, o fenômeno resulta na palavra, linguagem verbalizada, resultante do ato de falar e pensar por excelência, a qual pode ser oral ou escrita. E, é através das palavras que alcançamos os sentidos e significados que permeiam o universo sensível e puro das realidades vivenciadas, quer sejam sociais, históricas e/ou culturais.

A palavra então passa a ser a criação estética formalmente mais estruturada de um sistema complexo de ideologias qualificadas pelo contexto sócio-histórico-cultural. Somente com o acúmulo dessas mudanças que a

palavra engendra sentidos e significados compartilhados em contextos específicos de cada época e grupo social e cultural.

Isso torna a linguagem e o pensamento um movimento de transição da infra e supra estruturas dos signos linguísticos, ou de generalizações, como discorre Vygotsky, de palavras primitivas até aquelas mais formais, de concepções cotidianas até aquelas de formação conceitual.

Toda vez que se faz uma pergunta, o falante atribui um sentido com sua resposta, quando não há, é evidente a ausência de sentidos em que se concretiza materialmente os significados da palavra. Esta pode ser visualizada nos enunciados, textos e discursos.

Na rede de enunciações podemos captar temas e significações expressas pelos indivíduos, sabendo que este terá uma atenção deliberada conforme o tipo de entonação orientada ao interesse e o controle da ação que comunga significados semelhantes naquele momento histórico.

Enquanto o tema é o sentido completo dos mecanismos enunciativos, pois é dele que emerge a cadeia interativa discursiva ou textual de falas, as quais apresentam cenários da realidade com ideologias específicas.

Sobre isso, as formas linguísticas verbais e não verbais são fundamentais para a compreensão temática, a saber: a composição morfossintática, a sonoridade, a entonação, os símbolos e as imagens do contexto em estudo.

O que condiciona os sentidos dados pelos falantes são as significações e os enunciados expressos. Aqueles como técnicas de emergência dos temas em estudo. Assim, o tema torna-se uma complexidade sistêmica e dinâmica de signos linguísticos.

Doravante, é possível procedermos uma análise das interações discursivas por meios das enunciações e das abordagens temáticas no plano social da sala de aula ou de um processo de ensino e aprendizagem quando se vinculam aos compromissos epistemológicos, ontológicos e axiológicos de conceitos perfilados apresentados no tópico posterior.

### *1.1.3 – Compromissos epistemológicos, ontológicos e axiológicos: categorização de zonas dos perfis conceituais*

Em linhas gerais, ressalta-se aqui o *corpus* semântico matricial que define a forte estabilidade nos modos de pensar e formas de falar os perfis conceituais por meio dos compromissos epistemológicos, ontológicos e axiológicos ligados aos conceitos científicos.

A definição do termo compromisso em a teoria dos perfis conceituais, entendo-a como posta no sentido de estar vinculado ou pactuado numa espécie de acordo consensual entre dois ou mais indivíduos frente às enunciações elaborados para compreender, explicar e utilizar determinadas visões do mundo físico, social e cultural aos contextos em estudo os quais se mostram pragmaticamente objetivas.

Rodrigues e Mattos (2007) discorreram que conceitos ou objetos do conhecimento assumem dimensões filosóficas distintas para conhecer as representações, os sentidos e as significações dadas a eles.

O primeiro é epistemológico e retrata a maneira pela qual nos apropriamos de um determinado objeto. Isso vai depender da corrente filosófica em que se mostra como é construído aquele saber e usada para o interpretar no contexto de uso.

Para exemplificar, usaremos o conceito de átomo, objeto de estudo dessa dissertação, quando se concebe uma visão vinculada ao mundo físico observável de negação total dele; ao positivismo lógico, quando se usa os modelos teóricos propostos para justificar os fatos experimentais; e/ou ao racionalismo clássico e quântico, ao tratar o átomo como ideia distinta frente ao paradigma<sup>13</sup> que fomenta a realidade física, naquele é a mecânica clássica ou newtoniana e neste é a mecânica quântica (MORTIMER, 2000; MURTA; SILVA; ARAÚJO, 2013).

O segundo é o ontológico e visa retratar a natureza do ser atribuída aos objetos ou de todas as coisas no universo através das categorias ontológicas propostas por Chi (1992), a saber: material, eventos e abstrações.

É possível identifica-las como maneiras de pensar e expressar os conceitos científicos quando a linguagem presente no texto, na imagem ou na fala retratam a realidade física observável do conceito de átomo como análoga

---

<sup>13</sup>Para **Kuhn, paradigmas** são realizações científicas universalmente conhecidas que durante um certo período nos oferecem, além dos problemas, as soluções modelares para a comunidade que está envolvida com a ciência (GRINSPUN, 2001, p. 40 – **grifo nosso**).

a algo material, sendo substancializado ou generalizado visões macroscópicas às sub microscópicas e não considerá-lo na composição dos materiais; ao associar fenômenos ou transformações ocorridas, como nas reações químicas com o rearranjo dos átomos, mudando na formação de novos compostos; e a ideia ou o modelo teórico imagético e/ou matemático nos contextos em estudo (MORTIMER, 2000).

Por conseguinte, o terceiro é o axiológico e se compreende pela demonstração de valores, finalidades e utilitarismo dados aos objetos pelos indivíduos. Ele se evidencia em uma consequência prática de seu uso no contexto específico de estudo.

A ilustração desse compromisso a partir do conceito de átomo, Silva e Amaral (2019) percorreram acerca da realidade física científica de Putnam, como apresentado no estudo de Almeida (2019). Considerar o realismo interno é entender o consenso da comunidade de cientistas pertencentes àquele paradigma pelos quais coadunam o desenvolvimento de suas pesquisas enquanto consequência de práticas frutíferas pelo uso da compreensão da realidade atômica.

Outros estudos mais recentes da última década também trouxeram o olhar da pragmática e isso é muito salutar destacar, pois redirecionaram o campo de pesquisa para outras dimensões filosóficas, antes somente vinculadas ao epistemológico e ontológico, os quais também se vinculam fortemente à produção dos conhecimentos na história da ciência, na sala de aula ou em outros espaços.

No artigo de Silva e Amaral (2013) foi identificado com a proposição do perfil conceitual de substância o essencialismo de Lakoff na constituição da zona essencialista, vinculando concepções de uma metafísica objetiva emergidas no contexto da sala de aula.

Araújo (2014) também observou as ideias do pragmatismo de James dentro de comunidades distintas socio culturalmente – um grupo que trabalhava como técnicos de refrigeração e outro como bombeiros militares. Com este último estudo foi possível expandir o olhar sobre as zonas do perfil do conceito de calor, proposto por Amaral e Mortimer (2001), dentro de comunidades de aprendizagem situada, ou seja, visualizadas num contexto prático profissional.

Semelhantemente, Silva (2017) investigou concepções sobre o conceito de ácido/base em contextos situados de comunidades de prática de cabelereiras em suas ações rotineiras dos salões, o tratamento capilar, e evidenciou a prevalência de ideias utilitaristas/pragmáticas.

Simões Neto (2016) ao propor o perfil conceitual de energia para o ensino de química e física, evidenciou o pragmatismo de Bunge atrelado ao conhecimento de pseudociências quando as formas de falar são místicas, esotéricas e espirituais; e do realismo ingênuo ao associar a uma funcionalidade ou utilidade para a energia.

A seguir explanarei os domínios genéticos de Vygotsky necessários à individualização das zonas dos perfis conceituais.

#### *1.1.4 – Domínios genéticos de Vygotsky: constituição de zonas dos perfis conceituais*

Os postulados teóricos do pensamento de Vygotsky permeiam a constituição de zonas dos perfis conceituais, tendo em vista a maneira pela qual ele buscava compreender a aprendizagem.

Wertsch (1988) apresenta o método genético do desenvolvimento conceitual das funções e dos processos mentais superiores de Vygotsky cujo início se dá por mecanismos interacionistas sujeito-objeto do ambiente exterior ou social e seu entendimento apenas é possível pelos instrumentos mediadores, as ferramentas e os signos.

Para compreender o desenvolvimento de funções mentais superiores, como a atenção voluntária, a memória lógica, a capacidade de abstração, o controle consciente das ações e a capacidade de pensar conceitualmente, é necessário estudá-las em diferentes domínios genéticos. Tais domínios são a filogênese, a ontogênese e a história sociocultural. Vigotski estudou ainda a gênese de funções mentais superiores em curtos espaços de tempo, algo que Wertsch denominou microgênese (ARAÚJO, 2014, p. 16)

Para essa dissertação não apontarei o debate do domínio filogenético, pois foram bastante apresentados em outros estudos nessa perspectiva teórica e não contribuem para a compreensão da mudança de perfil conceitual dos indivíduos.

Isso se explica pela evidência da evolução cerebral humana comparada à de outras espécies de animais que não têm a mesma construção do pensamento e da linguagem, portanto, não é possível estabelecer uma comparação analítica do comportamento de macacos e homens, por exemplo.

Simões Neto (2016) apresentou a filosofia de Engels (1820 – 1895) para justificar essa impossibilidade entre essas espécies devido ao papel do trabalho que influencia fortemente a teoria de Vygotsky para compreender a humana distinta pela fala e a cultura.

Além disso, por se tratar de aspectos biológicos em uma linha evolutiva quanto ao desenvolvimento das funções mentais, como a escrita e a contagem, o domínio filogenético se relaciona as limitações e possibilidades da estrutura orgânica do cérebro, principalmente (SILVA, 2011; SEPULVEDA; MORTIMER; EL-HANI, 2013).

O desenvolvimento histórico para conhecer o comportamento humano se relaciona aos aspectos socioculturais, em Vygotsky, por ocorrer simultaneamente ao biológico. Uma vez que são pautados em um conjunto de regras diferentes e, por isso, não se configuram como uma continuidade do outro (WERTSCH, 1988).

A influência sociocultural no comportamento é oriunda de duas funções mentais, a primária e superior, aquela vinculado às leis da evolução biológica e essa ao da consciência humana. Olhar para esta última é possível entender que se dá em processos articulados e combinados mediados por ferramentas e signos para desenvolver atenção voluntária, percepção, memória, pensamento e fala.

Contudo, a materialidade histórico-dialética imbricada nos estudos de Vygotsky é fundamental para o desenvolvimento das funções e dos processos mentais superiores ocorrerem. Isto direciona a necessária contextualização dos instrumentos de mediação fundamentados na história humana a fim de aprimorar o trabalho, a linguagem e os signos.

Vigotski relaciona este domínio com as relações sociais, sendo então entendido como uma produção coletiva influenciada pela cultura e história. Ocorre em função do contexto e do período histórico em que o indivíduo está situado. A mediação é o ponto principal dentro desse domínio (SIMÕES NETO, 2016, p. 40).

As relações sociais são, portanto, mecanismos de apropriação histórica e cultural, mediante o contexto e o espaço-tempo em que se insere os indivíduos para adquirir as dimensões da natureza humana a que estão vinculados por meio da mediação.

Aqui é possível reconhecer que a cultura modela a natureza e vice-versa, haja vista “(...) cada pessoa é, em maior ou menor grau, o modelo da sociedade, ou melhor, da classe a que pertence, já que nela se reflete a totalidade das relações sociais” (VYGOTSKY, 1996, p. 368).

Nesse sentido, ratifica-se que as pesquisas sobre o desenvolvimento histórico-epistemológico dos conceitos na TPC ao longo do espaço-tempo trazem uma diversidade de visões próprias do contexto sociocultural da época específica pelas quais foram construídas. O que permite associá-las ao domínio genético sociocultural.

Quando olhamos para os significados que o sujeito constrói do nascimento até sua morte, fala-se do domínio ontogenético. Wertsch (1988) argumenta que ele é resultante de operações interrelacionadas e concomitante ao desenvolvimento funcional e processual do psiquismo natural e social ou cultural.

Assim, as dimensões natural e cultural do psiquismo humano se alinham e concorrem, ao mesmo tempo, na formação social e biológica da personalidade comportamental do sujeito. Para este as funções psicológicas elementares, enquanto aquele das funções psicológicas superiores. Isso justifica a necessidade de situar holisticamente as significações construídas pelos indivíduos a fim de não cair numa visão reducionista de a cultura e vice-versa.

É nesse entorno que as significações e os sentidos elaborados socio culturalmente assumem lugar pragmaticamente dizendo, na natureza da consciência humana, compreendendo o domínio ontogenético.

Na teoria dos perfis conceituais, relacionamos às características oriundas dos estudos da literatura que analisam e identificam as concepções informais de sujeitos adquiridos e ligados aos aspectos sociais e culturais deles, por meio de questionários no plano social da sala de aula e de comunidades de práticas.

Wertsch (1988) direcionou o domínio microgenético à maneira como Vygotsky entendia ser laboratórios de estudos. Nesse espaço-tempo, foca-se em significações manifestadas e formadas pelos processos psicológicos no que tange à aprendizagem conceitual por determinado grupo de indivíduos de determinada natureza e cultura.

Simões Neto (2016) apresenta que esse processo pode se dar de duas maneiras: “formação a curto prazo de um processo psicológico, identificado nas tentativas do sujeito em resolver uma tarefa proposta; e o descobrimento de um ato individual perceptivo ou conceitual de duração de milissegundos” (*Idem*, 2016, p. 41).

Assim, depreende-se que esse domínio não universaliza o desenvolvimento das funções e processos mentais superiores, pelo contrário, singulariza-o em determinado fenômeno investigado.

Coutinho (2005) em sua tese argumenta que é nele onde as interações discursivas são experienciadas no espaço-tempo da sala de aula ou em outros, envolvendo abordagens comunicativas dialógicas, como as entrevistas e a aplicação de uma sequência didática, onde serão visualizadas a construção de significados e sentidos.

De acordo com Mortimer *et al.* (2014), a elaboração das zonas dos perfis conceituais se relaciona diretamente com o método genético de Vygotsky a partir de três domínios genéticos, o sociocultural, o ontogenético e o microgenético, a fim de contemplar o conjunto de dados de maneira mais ampla a análise da gênese de diversas naturezas histórico-culturais sobre os conceitos no desenvolvimento humano em contextos de utilidade da experiência.

A ocorrência da variedade de zonas dos PC em cada indivíduo, no que tange ao enriquecimento e à tomada de consciência, é o foco da aprendizagem neste programa de pesquisa quando elas são compartilhadas de pessoa para pessoa em uma dada cultura, fixados desde os significados e os sentidos sócio-histórico-culturais aceitos à ação humana.

Dessa forma, pode-se corroborar com Silva (2011) ao dizer que “concepções associadas a diferentes domínios genéticos podem ser encontradas em um único contexto, mas em alguns contextos parece haver a

predominância de ideias relativas a um domínio genético específico” (*IDEM*, p. 32).

A constituição de zonas dos perfis conceituais na dinâmica da sala de aula permite trabalhar de maneira interativa o saber de outros dialeticamente até que se torne coletiva e compartilhada o pensamento e a palavra. Em seguida, apresentamos os conceitos perfilados publicados na literatura.

#### 1.1.5 – *Conceitos perfilados na literatura*

Os estudos dos perfis conceituais se baseiam em três conceitos básicos, de acordo com Mortimer e EL-Hani (2014), definidos por seu amplo domínio genético conceitual nas ciências da natureza, enquadrados como ontoconceitos, a saber: matéria, energia e vida.

Simões Neto e Amaral (2013) realizaram uma revisão da literatura sobre os estudos dos perfis conceituais presentes em eventos e periódicos da área de educação em ciências e buscaram analisar as tendências deles quanto ao ano e à região da publicação, à disciplina de origem do conceito, ao nível de ensino e à natureza da pesquisa.

Os resultados apontados pelos autores evidenciaram maior produção na região Sudeste, na proposição de perfis conceituais e uso na sala de aula, em sua maioria no ensino médio, inicialmente com conceitos ligados à disciplina de química, mas com o “boom” das pesquisas do ano 2000 em diante, foi incorporado por outras disciplinas das ciências naturais, os da física e da biologia.

Vale ainda ressaltar a baixa produção em âmbito nacional das pesquisas atrelado à produção acadêmica voltada as bases teóricas e metodológicas do programa de pesquisa dos PC, no ano de 2009, com um novo aumento a partir do ano de 2013.

Silva *et al.* (2016) também procederam uma revisão bibliográfica, contudo no período delimitado de 2006 a 2016, em 4 revistas *Qualis A* e em 2 eventos científicos da área de educação em ciências.

Semelhante a Simões Neto e Amaral (2013), e Silva *et al.* (2016) apontaram achados de baixa produção em virtude da definição das bases teóricas e metodológicas enquanto programa de pesquisa.

Além disso, evidenciaram por regiões geográficas de grupos de pesquisas no Brasil os estudos produzidos nessa perspectiva teórica, sendo dois da Sudeste e dois da Nordeste.

No quadro 1, expõe-se os conceitos perfilados para o ensino e a aprendizagem das ciências naturais e matemática, com informações dos autores (as) e dos anos de publicação através de dissertações, teses e artigos.

**Quadro1:** Trabalhos publicados na literatura sobre os perfis conceituais.

<b>Conceitos Perfilados</b>	<b>Autores (as)</b>	<b>Anos</b>
Átomo	Mortimer	1994
		1995
		2000
	Murta, Silva e Araújo	2013
	Lopes	2017
	Menezes Silva e Amaral	2019 2019; 2020
Estados Físicos da Matéria	Mortimer	1994
		1995
		2000
Molécula	Mortimer	1997
	Mortimer e Amaral	1999 e 2014
	Pereira	2020
Reações Químicas	Solsona, Izquiero e De Jong	2001
	Machado <i>et al.</i>	2006
Reação de Combustão	Medeiros	2019
Massa	Santos e Carbó	2004
Substância	Silva	2011
	Silva e Amaral	2013
	Simões Neto <i>et al.</i>	2013
	Sabino	2015
	Sabino e Amaral	2018
Ácido/Base	Silva	2017
	Silva e Amaral	2020
Equilíbrio Químico	Costa	2019
	Costa e Santos	2021
Ligação Covalente	Baltieri	2020
	Baltieri, Bego e Cebim	2021
Calor	Amaral e Mortimer	2001
	Araújo e Mortimer	2013
	Araújo	2014

	Diniz Júnior, Silva e Amaral Leite	2015 2018
Radiação	Zaiane Silva Júnior	2003 2011
Entropia e Espontaneidade	Amaral Amaral e Mortimer Amaral, Mortimer e Scott Guimarães Guimarães, Silva e Simões Neto	2004 2004 2014 2019 2019
Força	Radé Radé e Santos Chicóra	2005 2005 2018
Luz e Visão	Druzian, Radé e Santos	2007
Harmonia	Camara	2008
Poluição Sonora	Silva A e Silva P	2011
Energia	Simões Neto Simões Neto e Amaral	2016 2017
Gravidade	Andrade	2016
Vida	Coutinho Rodrigues e Silva Coutinho, Mortimer e El-Hani Coutinho, El-Hani e Mortimer Rodrigues e Silva, Mortimer, Coutinho e Valadão	2005 2006 2007 2014 2014 2015
Morte	Nicolli Nicolli e Mortimer	2009 2012 e 2014
Adaptação	Sepulveda Sepulveda, Mortimer e El-Hani	2010 2013 e 2014
Espécie	Soares <i>et al.</i>	2007
Respiração	Sá Sá, Jófili e Carneiro-Leão	2007 2011
Herança Biológica	Reis, Sepulveda e El-Hani Reis	2017 2018
Saúde	Sgrinhelli	2019
Referencial	Ayala e Freizza	2007
Tempo	Sodré	2018
Equação	Ribeiro Silva Almeida Alves Ribeiro e Alves Almeida, Ribeiro e	2013 2015 2016 2017 2019 2020

	Albrecht	
Química	Freire Freire e Amaral	2017 2020
Ensinar e Aprender	Souza	2008
Generalização	Santos	2011
Formação Continuada de Professores	Teilor	2019

Fonte: autoria (2022).

Ao observar o quadro 1, é possível analisar que os conceitos perfilados envolvem diversas disciplinas, tais como Biologia, Física, Matemática e Química. Além disso, a proposição de novos perfis conceituais, como o de energia, de ácido/base, de química, de herança biológica, de tempo, de equilíbrio químico, de reação de combustão e de ligação covalente, com implicações no planejamento do ensino e da aprendizagem a partir da heterogeneidade do pensamento e da fala sobre o conceito em estudo no contexto da sala de aula.

A emergência de novos estudos, inclusive, em conceitos já perfilados permitiu ampliar e enriquecer modos de pensar e formas de falar em situações contextualizadas pragmaticamente delimitadas e com fortes tendências aos processos de tomada de consciência, como no estudo de Sabino (2015), Lopes (2017), Costa (2019), Pereira (2020), entre outros, ancorados em teorias da linguagem e da aprendizagem, tais como Bakhtin, Vygotsky, Leontiev e Engeström.

Para delimitar a escrita no perfil conceitual de átomo, por ser o conceito objeto de investigação no desenvolvimento dessa dissertação, não aprofundarei detalhadamente nesse tópico as contribuições dos estudos nesses conceitos perfilados e apresentados no quadro 1 para a teoria dos perfis conceituais.

Mais adiante tratarei dos aspectos tão somente do PCA que permeou o planejamento do ensino e aprendizagem.

#### *1.1.6 - O perfil conceitual de átomo*

O primeiro perfil conceitual proposto foi o de átomo, no trabalho de tese do Mortimer (1994), através de uma massiva discussão dos resultados

disponíveis na literatura na linha das concepções informais e históricas sobre o atomismo, e de situações de ensino, onde ele identificou obstáculos que impediam o desenvolvimento da noção elementar da matéria. Inicialmente, foram estabelecidas três zonas, pois o foco dele era avaliar a construção do pensamento da noção atomística clássica para os fenômenos adotados, a saber:

1) Sensorialista - baseada na ideia de negação do conceito de átomo, admitindo que a matéria é contínua e não existe os espaços vazios nela. Este último constituindo o obstáculo de natureza ontológica.

2) Substancialista - admitindo-se que os átomos possuem o comportamento ou propriedades das substâncias, sendo este o principal obstáculo e de natureza epistemológica, pois possivelmente a noção de modelo para o indivíduo seja uma cópia fiel da realidade e não algo isomórfico a ela, caracterizando, então, o obstáculo realista, também de natureza epistemológica, responsável pela não adequada ideia de modelo.

Outro aspecto importante nessa zona é a não aceitação do vazio, mesmo admitindo a existência de partículas últimas constituindo a matéria – fato apresentado por muito tempo na história da ciência, desde o século XVII, com os filósofos mecânico-corpularistas, tais como Boyle e Newton, baseados nas ideias de Leucipo e Demócrito, os quais vinham defendendo as transformações da matéria através da existência de partículas infinitesimais, como propunha Descartes, mesmo com a criação do vácuo, por Torricelli, a partir de experimentos com fluidos de mercúrio, o vazio ainda era uma questão de debate filosófico naquela época.

Além disso, o conhecimento da filosofia aristotélica, a qual negava o vazio, ainda se fazia presente na ideia do flogisto como essência dos corpos, causando grande resistência para esse debate com os filósofos desse tempo.

3) Átomo Clássico - considera a existência do átomo como unidade básica da constituição da matéria que se conserva sua massa e energia durante uma transformação química ou física. Além disso, Mortimer (1994; 1995; 2000), apresentou categorias relacionadas aos átomos na constituição de moléculas e estas formadas pela combinação deles, iguais ou diferentes, constituindo, respectivamente, as substâncias simples e compostas, bem como

átomos de naturezas iguais possuírem a mesma propriedade, chamada de massas atômicas.

Ainda segundo o autor, as pesquisas apontaram que o obstáculo epistemológico substancialista e “o horror ao vácuo” são mais difíceis de serem superados que a falta de conservação da massa nos processos.

Não obstante, outras ideias enquadraram o bojo de concepções do atomismo clássico, tais como movimento, energia, arranjo e interação entre as partículas.

Para Mortimer, aquelas serviram de análise das concepções prévias dos sujeitos e essas após o processo de ensino, uma vez que era objetivo de sua pesquisa analisar o ensino do atomismo em nível elementar. Todas essas concepções foram oriundas de visões mecanicistas atribuídas às partículas.

Além dessas três, em sua obra “Linguagem e Formação de Conceitos no Ensino de Ciências”, Mortimer (2000) fez menção da existência de uma quarta zona que englobasse a noção quântica da matéria, chamando-a de zona de átomo quântico e entendida por uma linguagem matemática baseada em princípios da teoria quântica.

O autor ainda esclareceu que para evoluir para essa noção é necessário extinguir os vestígios da visão substancialista, tão presentes ainda na visão de átomo clássico, devido às influências do mecanicismo e corpularismo atribuídas ao comportamento da matéria e suas transformações, quer sejam físicas ou químicas.

Para ele, mesmo com o avanço da eletrodinâmica, na segunda metade do século XIX, propiciando a proposição de vários outros modelos atômicos constituídos de partículas carregadas, o átomo continuou com as mesmas explicações do comportamento clássico.

Isso nos dá a pista para perceber em que zonas enquadram as concepções dos modelos atômicos propostas pelos cientistas e expressadas por estudantes nessa dissertação, pois a zona de átomo quântico é mais bem descrita por equações matemáticas, como a de Schrödinger, a qual explicita o entendimento do comportamento ondulatório e de partícula material atribuído aos elétrons e outras partículas atômicas.

Todas essas colocações advindas da mecânica quântica trouxeram duas consequências para a evolução da noção clássica para a quântica. A primeira,

centra-se na superação da dialética contraditória contínuo-descontínuo, haja vista o átomo e suas partículas possuírem propriedades contínuas, relacionadas a ondas e campos, por exemplo, e descontínuas, relacionadas as partículas.

Todavia, para Mortimer (2000), isso têm reflexo nos perfis de indivíduos em comunidades situadas, como as dos químicos, por exemplo, imaginarem uma molécula ou átomo baseado na visão clássica e descontínua do que relações matemáticas em campos de força.

A segunda expressa-se na impossibilidade de representar o átomo quântico com base em modelos ou analogias, uma vez que ele imprime uma visão contraintuitiva da realidade, não apresentando uma conexão direta entre os constructos teóricos e a realidade física.

No estudo de Murta, Silva e Araújo (2013) foram investigados as explicações dadas por alunos dos três anos do Ensino Médio, com idades entre 15 e 19 anos, sobre as transformações da matéria, observando à passagem do vitalismo para o mecanicismo, baseado no PC de átomo proposto por Mortimer (2000), na busca de um paralelo entre os obstáculos encontrados nas concepções prévias dos alunos dos dias atuais com as dos historiadores que discutiram os mesmo aspectos na consolidação da ciência moderna.

Não obstante, os autores colaboraram com o perfil conceitual de átomo, ao propor novas categorias para as zonas desse perfil a partir de pontos de rupturas na passagem da visão de mundo mágico vitalista para a visão mecânico-corpúscular de Boyle, presente na obra de Goldfarb (1987), “Da Alquimia à Química”, denominadas de vitalista e mecânico-corpúscular.

A primeira relacionada a um compromisso ontológico da zona sensorialista, pois atribuem qualidades vitalistas a matéria, baseadas no conhecimento da alquimia, segundo a qual concebia a matéria apenas por suas qualidades, acreditando na transmutação dela, e, na filosofia aristotélica, cujo fundamento era a relação entre forma e matéria.

Em contrapartida, a segunda se relacionou por um compromisso epistemológico da zona substancialista, a teoria mecânico-corpúscular de Boyle, guiada pelo cartesianismo de Descartes, segundo o qual dizia no princípio não haver “qualidades ocultas, **pois** [grifo nosso] o universo cartesiano é definido como um contínuo de matéria, totalmente redutível a

partículas infinitamente divisível, cuja relação entre si é explicada em termos mecânicos de movimento perfeitamente quantificáveis” (GOLDFARB, 1987, p. 174).

Isso contribuiu para a dicotomia entre realidade e representação dela ao interpretarem a calcinação dos materiais a partir dos trabalhos de Torricelli acerca da pressão atmosférica, experimentos estes que indicaram a existência do vácuo e sucumbiram a concepção de continuidade na matéria.

A partir de um questionário esses autores abordaram fenômenos relacionados ao conceito de átomo, como reações químicas e mudanças de estado da matéria.

Além dessas duas categorias, uma terceira emergiu das respostas dos estudantes e no processo histórico relacionado a visão apresentada por Lavoisier sobre a calcinação, denominada de mecanicista, entretanto, ela já se faz presente no perfil de átomo proposto por Mortimer (2000). Esta foi responsável por enquadrar o atomismo clássico dentro da mesma categoria ontológica que pertence o atomismo substancialista e sensorialista, denominada de matéria.

Não obstante, pôde-se perceber, também, que a diferença entre as zonas pré-científicas e as científicas, clássica e racional, é a atribuição relacional ou interacional das características dadas ao comportamento da matéria definidas por essas. Contudo, é na zona de átomo quântico que o atomismo passa a possuir uma categoria ontológica diferente da matéria, denominada abstração, haja vista este ser uma equação matemática, baseado na mecânica quântica.

Murta, Silva e Araújo (2013) dão pistas sobre a complexidade da construção de uma noção clássica do átomo e dos obstáculos gerados a partir dessa noção para atingir uma noção quântica:

a completa ausência do observador no arcabouço das teorias científicas que prosperaram neste período – ausência esta imposta pelo Postulado da Objetividade Científica; e a causalidade no seu significado determinista, que retira ao humano qualquer possibilidade do aleatório (*Ibidem*, p. 5).

Isso fica claro que no processo de ensino e aprendizagem essa é a grande dificuldade dos alunos se apropriarem de um assunto totalmente distante de sua realidade, pois não traz a sensação de pertencimento dele.

Com isso, os autores ainda sinalizaram os pontos de ruptura na história desse conceito, como descritos a seguir:

1 - o papel das leis e teorias científicas e sua transitoriedade na explicação dos fenômenos, isto é, a inclusão do sujeito-observador para dar suporte a essa realidade limitada pelos conhecimentos que as explicam;

2 - o fim da casualidade determinista – própria do pensamento linear ou cartesiano – e o surgimento de questões aleatórias.

Diante disso, Murta, Silva e Araújo (2013) trouxeram algumas contribuições do desdobramento de sua pesquisa que nos indicam a necessidade de investigar os aspectos relacionados à transição da visão clássica para a quântica, por meio da nova historiografia da ciência, e desenvolver estratégias de ensino e aprendizagem que possibilitem a evolução dessas maneiras de pensar, com episódios da história da ciência, imbuída de uma dimensão ontológica aberta e adaptativa, ou seja, transitória, passível de evoluir ao longo do tempo, considerada por muitas variáveis.

a inclusão de fato da história da ciência, abarcando os pontos de ruptura ocorridos durante seu desenvolvimento, juntamente com as consequências filosóficas e sociais, pode se mostrar fecunda na elaboração de estratégias de ensino aprendizagem. Tal abordagem poderia facilitar a apropriação dos modelos relacionados ao conhecimento científico, já que na visão assim construída está presente o sentimento de pertencimento de cada um no sentido de sermos agentes e ao mesmo tempo vivermos as consequências do conhecimento de nossa época (*Ibidem*, p. 07).

Nesse mesmo sentido, Mortimer (2000) já havia apontado o motivo da não existência de uma visão empírica do átomo, visto que a falta de provas oriundas da experiência limitava a aceitação da sua existência na comunidade científica da época.

Faraday (1791-1867) era um desses céticos diante da hipótese atômica, tendo em vista sua concepção em materiais condutores e isolantes serem consideradas quando a eletricidade passasse por um meio contínuo, como um fluido, impossíveis à luz do atomismo que admitia espaços vazios na matéria (MORTIMER, 1995).

Assim, segundo Faraday (1844) *apud* Mortimer (2000), admitir a existência de átomos, era considerar que eles não se tocavam, isto é, o vazio passaria a existir, e, “o espaço seria, portanto, a única parte contínua da matéria” (MORTIMER, 2000, p. 132).

Para Faraday, o espaço não poderia apresentar natureza dupla, pois até naquela época, acreditava-se que a eletricidade precisava de um meio contínuo para se fluir, embora seus experimentos e formulação matemática, discutindo a passagem de eletricidade no meio material, deram contribuição posteriormente ao atomismo, permitindo J. J. Thomson reproduzir os experimentos e construir relações proporcionais entre carga e massa da partícula do átomo.

É nesse entrave histórico que encontramos, mais uma vez, a necessidade de observamos paulatinamente a evolução da proposição dos modelos atômicos do século XIX ao XX, visto que, corroborando com Mortimer (2000), a superação da negação da hipótese atômica, possivelmente, encontre terreno através da negociação baseada em argumentos racionais provenientes da cultura científica da época.

Silva e Amaral (2019) ao revisitar as zonas do perfil conceitual de átomo pelo desenvolvimento histórico dos modelos atômicos proposto do final do século XIX e na primeira metade do século XX, buscando ampliar os modos de pensar a zona de átomo quântico.

Com o desenvolvimento desse estudo, os autores apontaram o pensamento monista de Heisenberg, entendida pela ontologia unificada da realidade; a energia radiativa definida por Planck, vinculada a um compromisso epistemológico racionalista discursivo; a densidade de probabilidade de Max Born e o realismo físico com distintas interações observador-objeto apresentando fortes valores da pragmática do realismo interno de Putnam.

A relação de modelos para esse conceito e as zonas do perfil conceitual de átomo, tem-se no estudo de Galiazzi *et al.* (1997) dados por meio de

desenhos ao imaginar como seria o átomo por estudantes do antigo 2º grau ou Ensino Médio, da licenciatura em ciências – habilitação em química e professores em atuação, emergindo 8 representações gráficas diferentes, categorizadas de modelo animista, substancialista, de Thomson, de Rutherford, de Rutherford-Bohr, de Sommerfeld, quântico e outros.

Dos 500 desenhos coletados, 50 foram analisados de estudantes e professores da universidade e vinculados aos 8 modelos do átomo anteriormente citadas. Os resultados dessas representações gráficas foram aproximados às zonas do perfil de átomo da seguinte forma: modelo substancialista – zona substancialista; modelos Rutherford, Rutherford-Bohr e Sommerfeld – zona mecânico quântico; modelo quântico – zona teórica quântica.

A maioria foi evidenciada nos modelos Rutherford-Bohr e seguido do de Sommerfeld. No caso do modelo quântico foi perceptível nas construções de professores universitários e poucos estudantes da licenciatura. Mortimer (1994; 2000) aproxima o modelo atômico de Bohr do objeto mecânico quântico e o modelo quântico do objeto da teoria quântica por meio da ontologia distinta daquela do tipo material e atribuída ao atomismo clássico, denominada de abstrata, por ser contraintuitiva, vinculada a função de onda de Schrödinger.

Galiazzi *et al.* (1997) ratificam sobre os outros modelos da necessidade de clareza do quanto se tem a aprender sobre o conceito átomo em seu desenvolvimento histórico, devido à dificuldade que eles têm de desenhar um modelo coerente com os distintos modelos atômicos descritos na história da ciência e que abarque a explicação de fenômenos estudados em sala de aula.

Outros aspectos importantes a destacar do estudo desses últimos autores são: a combinação de características de variados modelos atômicos usados em sala de aula ao representarem o átomo; não mostram uma ideia adequada da descontinuidade da matéria; a reprodução dos modelos didáticos para o átomo dos professores pelos alunos é sem alguma reflexão analítica; a consideração do modelo último como apropriado e os outros ultrapassados; e outros.

Menezes, Machado e Silva (2020) analisaram zonas do perfil conceitual de átomo antes e após a intervenção pedagógica na educação de jovens e adultos sobre os estados físicos da matéria.

Os resultados antes da intervenção foram identificados como zona realista 1 (matéria contínua e não conservação da massa - *“é duro e também tudo alimento que mastigamos”*, inclusive nas imagens produzidas); zona realista 2 (matéria contínua e conservação da massa – *“que some e evapora”*; *“o ar pode sofrer compressão ou expansão e depois retornar ao estado em que estava”* e esse último foi expresso em imagens por bolinhas e espaços vazios entre elas); zona substancialista (matéria contínua e conservação da massa – *“o sólido tem forma própria, enquanto os líquidos e gases adquirem a forma do recipiente em que se encontram”*).

Após a intervenção, identificou-se a zona substancialista 1 (matéria contínua e conservação da massa - *“a massa de ar sai do balão e vai para fora se misturando com o ar”* e quando representado traz a continuidade da matéria); a zona substancialista 2 (matéria descontínua e conservação da massa - *“matéria fixa”* e imagens representadas com a organização das partículas em cada estado da matéria, como também na mudança do estado vir com predominância da visão substancialista); a transição da zona substancialista para atomista (matéria descontínua e conservação da massa - *“ela se espalha, pois não tem forma nem volume definido”* e com as representações expressam ideias de partículas organizando os estados da matéria); a zona atomista (matéria descontínua e conservação da massa - *“o gás se espalhou, suas partículas estão bem desorganizadas e separadas”*).

Com esse estudo fica evidente que a linguagem usada pelos estudantes alterna entre a do senso comum e a da ciência, com mudança no perfil conceitual em direção a visões científicas do átomo, sobretudo, na transição de zonas, ao considerarem a organização dos estados da matéria por meio de partículas e mostrarem os espaços vazios entre elas principalmente nas imagens que nos textos.

Isso traz dois elementos importantes sobre esse grupo de estudantes. Primeiro, quanto ao perfil epistemológico que se revela com distância do ambiente e rotina da escola, ocasionando o esquecimento sobre os assuntos em estudo. Segundo, quanto ao ontológico por atribuírem a conservação das massas em linguagem verbal sem ancorar na composição da matéria (MENEZES, 2019).

Ademais, o uso de linguagem verbal e não-verbal em situações de ensino podem proporcionar adequações à noção de modelo científico quando adotam características para explicar composições diferentes dos estados da matéria e de suas representações.

Além disso, o trabalho trouxe contribuição ao pensar as dificuldades de transição das zonas do perfil conceitual de átomo, a saber: “a maioria dos alunos não possui hábito de leitura, estava afastada da escola há muito tempo, nunca tinha estudado química ou o tinha há muitos anos, e esses, dentre outros fatores, podem ter influenciado na aprendizagem desses alunos e/ou na forma de expressar suas ideias, principalmente nas atividades escritas” (MENEZES; MACHADO; SILVA, 2020, p. 241).

Silva e Amaral (2020) investigaram modos de pensar à luz das zonas do perfil conceitual de átomo de seis licenciandos em química, cursistas da disciplina de história da química, quando expressavam fatos atrelados ao desenvolvimento histórico, as características e qual consideravam ser o modelo atômico atual na química, como também o que entendiam desse conceito e fenômenos associados a ele sobre o comportamento da matéria em seus estados físicos sólido, líquido e gasoso; a ferrugem em um trilho ferroviário; o apodrecimento de uma maçã; a queima de um papel; o aquecimento de uma barra de ferro e a explosão de fogos de artifício.

Os resultados trouxeram importantes contribuições sobre o estudo do conceito átomo, uma vez que todos mostraram uma compreensão de modelo atômico enquanto uma representação pictórica do átomo e tendo grande importância na explicação de fenômenos como modelo teórico, aproximando da zona de átomo clássico, como no da ferrugem.

Contudo, quando explicitaram fenômenos de luminescência, ao relacionar com os modelos atômicos descritos na história da ciência, parece transitar entre a zona de átomo clássico e quântico, como na queima do papel e no aquecimento de metais. Já a zona de átomo quântico somente emerge nos dois fenômenos de combustão, o do papel e o dos fogos de artifício.

Silva e Amaral (2020) apontaram que ao responderem sobre o comportamento da matéria no estado sólido trazem visões generalistas e próximas da zona de átomo clássico; no líquido e no gasoso substancializam e

novamente generalizam, bem como no fenômeno biológico de apodrecimento de frutas e na combustão de fogos de artifício.

No que tange ao processo histórico do conceito átomo, os autores evidenciam que os licenciandos apresentam do filosófico aos modelos atômico de Dalton, Thomson, Rutherford, Bohr, Nagaoka e atual. Somente o de Dalton se aproxima da zona de átomo clássico e o atual à zona de átomo quântico.

Para o modelo filosófico não há aproximação com alguma zona propostas por Mortimer (2000) e para os outros parecem transitar entre a zona de átomo clássico e quântico.

Embora Galiazzi *et al.* (1997) tenham se baseado na tese de Mortimer (1994), analisaram modelos desenhados a partir de cinco zonas do perfil conceitual de átomo, como descritas em seu artigo.

Disto é possível identificar que as duas últimas zonas apontadas não foram citadas por Mortimer (1994; 2000) enquanto zonas, mas, em nossas leituras e reflexões analíticas, podem assumir ser categorias vinculadas à compromissos epistemológicos da zona de átomo quântico, por meio de considerações históricas sobre o desenvolvimento dos modelos atômicos, a saber: mecânico-quântico e da teoria quântica.

Assim, no quadro 2 sintetizamos as zonas do perfil conceitual de átomo proposto por Mortimer (1994; 2000), junto as contribuições advindas de Galiazzi *et al.* (1997); Murta, Silva e Araújo (2013); Lopes (2017); Menezes (2019); e, Silva e Amaral (2019; 2020), com seus modos de pensar e formas de falar.

**Quadro 2:** Zonas do perfil conceitual de átomo e seus modos pensar e formas de falar.

<b>Zonas</b>	<b>Modos de pensar</b>	<b>Formas de falar</b>
Sensorialista	A matéria é considerada contínua e nega o vazio e o átomo.	<i>“Quando calcinamos o metal, o oxigênio contido nele e outros gases são expelidos em uma espécie de fervura e o metal fica maciço, ou seja, pesado e duro”</i> (MURTA; SILVA; ARAÚJO, 2013, p. 4). <i>“tudo que é ingerido sem mastigar”</i>

		(MENEZES, 2019, p. 41).
Substancialista	Usa as partículas como grãos de matéria, atribuindo características da matéria em nível macroscópico, como dilatação, compressão e mudança de estado, análogas às partículas, em nível atômico-molecular. Continua a negar o vazio e tem uma ideia distorcida de modelo teórico.	<p><i>“Dilata. As partículas do ar, quando aquecidas, dilatam [...]”</i> (MORTIMER, 1995, p. 23)</p> <p><i>“O metal fica pesado porque ele absorve o calor e o papel vira pó porque é queimado”</i> (MURTA; SILVA; ARAÚJO, 2013, p. 5).</p>
Átomo Clássico	Apresenta a matéria descontínua e aceita a ideia de átomo, sem vestígios do substancialismo, baseado nas leis da mecânica clássica, como unidade básica da matéria ou uma partícula material, o qual conserva as características nos fenômenos químicos e físicos, atrelado a lei da conservação da massa e da energia. O movimento, energia, arranjo e interação das partículas são todos ligados ao mecanicismo.	<p><i>“papel vira cinza e o metal fica mais pesado porque os átomos estão mais concentrados”</i> (MURTA; SILVA; ARAÚJO, 2013, p. 5).</p> <p><i>“o gás se espalhou, suas partículas estão bem desorganizadas e separadas”</i> (MENEZES, 2019, p. 55)</p>
Átomo Quântico	Entende o átomo como uma expressão matemática, baseada nas leis da mecânica quântica, ao romper totalmente com a visão substancialista, mecanicista e corpuscularista da partícula e subpartículas, a fim de superar a contradição contínuo-descontínuo. Não é possível usar analogias ou modelos pictóricos, pois a realidade quântica é uma visão contraintuitiva, vinculada ao pragmatismo do realismo interno científico e a uma realidade unificada pelo monismo.	<p><i>“O elétron recebe energia e salta para a camada mais externa e quando volta emite luz”</i> (LOPES, 2017, p. 84).</p> <p><i>“O espectro do hidrogênio é descontínuo. Espectro da luz é contínuo”</i> (LOPES, 2017, p. 97)</p> <p><i>“Modelo quântico-matemático – baseado em equações”</i> (SILVA; AMARAL, 2020).</p>

Fonte: autoria (2022).

Nessa dissertação se buscou fazer aproximações dos perfis conceituais com a estratégia estudo de caso histórico no contexto de ensino. Para isso, apresentamos a seguir os estudos que balizaram a estruturação do referencial

metodológico adotado na aplicação de campo dessa pesquisa, no que concerne à elaboração e à aplicação de um ECH ligado à queima dos fogos de artifício e o conceito átomo.

## 1.2 – Estudo de caso histórico no ensino de ciências

Eu penso que a primeira coisa que nós devemos fazer é criar cenários contextuais os quais atraiam a atenção e imaginação dos estudantes (STINNER, 2009, p. 2 – **tradução nossa**).<sup>14</sup>

A partir do trecho destacado de Stinner no início desse tópico, destaca-se o grande papel dos educadores enquanto organizadores e executores do processo de ensino e aprendizagem na construção de cenários contextualizados, à medida em que usam todo seu poder criativo para motivar e capturar a imaginação dos estudantes.

Desse modo, busca-se aqui apresentar os referenciais teóricos e metodológicos os quais também envolvem o desenvolvimento dessa dissertação para compreender a evolução conceitual dos alunos na dinâmica da sala de aula. Por isso, usamos a vertente defendida pelo programa de pesquisa de Arthur Stinner.

Ao aproximar com a teoria dos perfis conceituais, pretendemos trazer contribuições para ela, no tocante à heterogeneidade do pensamento verbal, relacionado ao domínio genético sociocultural e microgenético, a fim de ampliar dimensões da matriz semântica necessárias ao alinhamento com o perspectivismo cultural e a epistemologia kuhniana cujas bases podem fomentar a defesa de uma educação pautada na multiculturalidade.

A seguir, explanar-se-á o ensino de ciências e a contextualização histórica; estudo de caso histórico: uma abordagem contextualizadora.

### 1.2.1 – O ensino de ciências e a contextualização histórica

---

<sup>14</sup>Trecho do texto da entrevista de Arthur Stinner (2009) sobre Arte em Ciência. Disponível em: <<http://www.arthurstinner.com/stinner/pdfs/2009-artonscience.pdf>>. Acesso em: 13 jan. 2015.

Contextualizar historicamente os conceitos científicos emerge da necessidade de superar visões distorcidas da atividade científica, tais como a empírico-indutivista, aproblemática, ahistórica, entre outras, segundo Cachapuz *et al.* (2005), no processo de transposição didática desses conceitos a fim de construir uma cultura científica escolar, valorizando o papel da ciência e tecnologia no desenvolvimento das sociedades e culturas, global e local.

Dado o potencial da estratégia contextualizada historicamente, como será apresentado a seguir, no desenvolvimento de argumentos, na captura da imaginação e atenção do estudante no processo de ensino e posicionamento dele diante de uma problemática atual, foi possível definir que a evolução conceitual do átomo da noção clássica para quântica, seria melhor construída, ou melhor, com uma aprendizagem enriquecedora, diante da complexidade do conceito em estudo, a partir do estudo de caso histórico, tendo em vista os aspectos apresentados por Stinner *et al.* (2003) e Porto (2010).

Mortimer *et al.* (2014) argumentaram que a utilização do perfil conceitual em sala de aula, baseando-se na história da ciência (HC) como eixo orientador do processo de ensino, contribui para superar o ensino dogmático ainda predominante nas escolas, uma vez que mostra as rupturas que ocorrem ao longo da história da produção desse conhecimento, revelando seu caráter essencialmente dinâmico.

Para Lôbo (2007), existem várias representações da realidade, tanto para o mesmo sujeito em relação a um conceito científico, quanto para um mesmo conceito, em diferentes contextos históricos.

Diante do exposto, a autora coloca a questão do ensino e da formação do professor numa abordagem contextual, com base no desenvolvimento histórico dos conceitos, ao contribuir para um ensino mais crítico e apoiado numa concepção de ciência pautada na transitoriedade da cultura científica da humanidade, ou seja, sujeito a erros, conflitos e constantes retificações.

A HC é um campo do conhecimento consolidado desde meados do século XX e constituído por uma abordagem interdisciplinar na academia. Esse campo tem como objeto de estudo o exame conceitual da ciência e da atividade científica numa reconstrução de sua história, bem como analisa suas implicações filosóficas, seja relacionado à cultura ou à tecnologia (ROSA; PENIDO, 2005).

A importância da HC para a formação científica de qualidade vem sendo amplamente defendida na literatura em educação em ciências (ALFONSO-GOLDFARB, 1994, MATTHEWS, 1995; PEDUZZI, 1998; OSTERMANN, 2000; ROSA; PENIDO, 2005; VIANA; PORTO, 2007; VIDAL; CHELONI; PORTO, 2007; BALDINATO; PORTO, 2008; OKI; MORADILLO, 2008; PORTO, 2010; TRINDADE, 2011; BELTRAN, 2013; CALLEGARIO *et al.*, 2015, BALDINATO; PORTO, 2015).

Matthews (1995) ratifica que a HC humaniza o conhecimento científico, estimulam os alunos e favorecem uma melhor compreensão dos conceitos científicos e seu desenvolvimento, permitindo superar a falta de significado das fórmulas e equações elaboradas através das conclusões postas pela cultura científica.

Ele ainda acrescentou que esta perspectiva epistemológica favorece significativamente o aperfeiçoamento e formação dos professores, dando uma melhor compreensão da estrutura da ciência que ensinam.

Assim, a história da ciência, consoante Trindade (2011), possibilita uma construção e compreensão dinâmica da nossa vivência, da convivência harmônica com o mundo da informação e do entendimento histórico da vida científica, social, produtiva do planeta e do cosmo.

Dito de outro modo, é um aprendizado com aspectos práticos e críticos de uma participação no romance da cultura científica, ingrediente primordial da saga da humanidade.

Segundo Callegario *et al.* (2015), mesmo diante dos aspectos anteriormente ressaltados, a inclusão dessa abordagem no processo de ensino e aprendizagem foi paulatinamente implantada, a princípio, timidamente, no que tange à própria construção dos currículos disponíveis nos cursos de nível superior e médio.

Com a emergência da clarificação de questões próprias do porquê utilizar esse olhar historiográfico na escola, um novo documento complementar aos Parâmetros Curriculares Nacionais para o Ensino Médio (PCNEM), os PCN+ Ensino Médio – Orientações Educacionais Complementares aos PCNEM (BRASIL, 2002), ressaltaram a relevância da vivência de uma abordagem histórica da ciência na construção de habilidades e competências inerentes a essa estratégia.

A medida em que se possibilita contextualizar os conhecimentos científicos e tecnológicos, entende-se sua dinamicidade na sociedade ao relacionar os aspectos observáveis com os modelos explicativos e inserir o estudante no processo de (re) construção dos conceitos (PORTO, 2010).

Para Alfonso-Goldfarb, Ferraz e Beltran (2004, p. 50) a história da ciência numa perspectiva historiográfica tradicional compreende o processo de construção da ciência como um “desenvolvimento contínuo e acumulativo da ciência. Um processo considerado único, progressivo e inevitável, pois teria seguido a trilha lógica das verdades sobre a natureza”.

Assim, outras questões importantes não permeavam a compreensão dos fatos científicos, tais como, segundo Vidal e Porto (2012), cultura, religião, política, economia, sociedade.

Na tentativa de superar este tipo de historiografia da ciência, voltada apenas para as questões internas da comunidade científica, Bachelard (1938/1996) e Khun (2007), introduziram uma perspectiva socialista para a ciência, passando então a nova historiografia da ciência considerar os fatores exteriores à ela para a construção de episódios dela, os quais permitem compreender a construção de um conceito científico em toda sua complexidade, numa relação dialética entre a dimensão internalista e externalista da ciência (VIDAL; PORTO, 2007).

Por outro lado, Beltran e Saito (2012) trazem um diálogo atual sobre a necessidade da interface da história da ciência e o ensino das ciências, centrando no cerne desse debate a questão das visões epistemológicas da ciência e de sua atividade, principalmente a empirista-indutivista (PRAIA; CACHAPUZ; GIL-PÉREZ, 2002), que ainda permeiam as concepções de estudantes, professores e materiais didáticos (KOMINSKY; GIORDAN, 2002; MARTINS, 2007; SAITO, 2010; ROSA C.; ROSA A., 2010; BELTRAN; SAITO, 2012; entre outros).

Para superar tal dado, fez-se necessário introduzir metodologias baseadas no percurso histórico dos conceitos científicos e tecnológicos, a partir de uma abordagem contemporânea da história da ciência, de maneira pontual e minuciosa, buscando entender suas especificidades por episódios e documentos originais.

E, é nesse escopo que a história da ciência tem sido apontada como uma ferramenta que pode possibilitar a superação dos problemas relativos ao ensino de ciências, pois Beltran e Saito (2012, p. 2) discutem que “os estudos em história da ciência envolvem três esferas de análise: epistemológica, historiográfica e contextual”.

As soluções, a partir da inclusão dessa abordagem, para as dificuldades apresentadas pelos métodos centrados na transmissão conceitual, favorecem o cumprimento dos objetivos da alfabetização científica. Dessa forma, a escola deve dar maior atenção aos aspectos humanistas da cultura para a construção de uma aprendizagem na perspectiva da cidadania, semelhante no trecho seguinte:

um grande benefício que os estudantes podem tirar de um curso devidamente conduzido em obras clássicas será abrindo ricos tratados literários da antiguidade, e ganhando intimidade com concepções e visões de mundo que tinham duas nações avançadas. Uma pessoa que tenha lido e entendido autores Gregos e Romanos sentiu e experimentou mais do que aqueles que se restringiram às impressões do presente. Ele vê como os homens fizeram em diferentes circunstâncias juízos totalmente diferentes para as mesmas coisas que nós fazemos hoje (MACH, 1910, p. 37, *apud* PORTELA, 2006, p. 13).

A partir disso, pode-se vislumbrar um ensino de ciências transformador, pautado na construção de conhecimentos e na compreensão do empreendimento da ciência e tecnologia química através de retificações e múltiplas rupturas (DELIZOICOV; ANGOTTI; PERNAMBUCO, 2011).

Cachapuz *et al.* (2005), ainda reforça a ideia de que um ensino que não é contextualizado historicamente, baseado na transmissão conceitual, favorece a construção de uma visão distorcida da ciência, considerando-a socialmente neutra.

Não obstante, na formação de professores, Porto (2010) também acredita que essa abordagem historiográfica possa auxiliá-los no processo de ensino, conforme os objetivos educacionais postos nas diretrizes atuais.

Por outro lado, Baldinato e Porto (2008), discorreram que todos os problemas do ensino das ciências não serão solucionados unicamente pela abordagem histórica dos conteúdos.

No entanto, os autores indicaram nesse artigo que a história da ciência possibilitaria aos estudantes uma maior compreensão acerca dos conteúdos científicos, como argumentou Debus, relevante historiador da ciência, a seguir:

acredito que seja importante – talvez essencial – para um estudante compreender o papel da ciência em nosso mundo – e acredito que a melhor maneira de se fazer isso é através da história. Este é um recurso precioso para os estudantes entenderem os fatores que afetam a mudança de visão do homem a respeito da natureza [...]. (DEBUS, 1971, p. 804 *apud* VIDAL; PORTO, 2012, p. 295).

Além desses argumentos, Porto (2010) também trouxe alguns debates e reflexões sobre as tendências de pesquisas baseadas na abordagem historiográfica, principalmente, para a formação dos professores de química, a saber:

1 - o olhar crítico sobre um texto histórico da ciência pode direcionar a construção de um texto dessa mesma natureza;

2 – a aproximação com fontes primárias da história da ciência para melhor situar o contexto em que essas ideias científicas, complexas por sua ampla teia de relações, foram originalmente construídas;

3 – a utilização de metodologias baseadas na nova historiografia da ciência, como a construção de estudos de casos históricos a partir de fontes primárias e secundárias da ciência, esta última sendo de boa qualidade.

Baldinato e Porto (2015, p. 169) argumentaram que “alguns temas mais recentes da história mostram forte potencial como motivadores de um ensino de química contextualizado”.

Assim, estratégias historicamente contextualizadas vêm sendo investigada por Porto e grupo de pesquisa, visto que elas vêm contribuindo significativamente ao ensino das ciências:

defendemos aqui concepções historiográficas da ciência que levam em consideração a influência parcial da Natureza no processo social de construção da ciência, o estudo minucioso de episódios, obras e autores em seus respectivos contextos (incluindo a caracterização das peculiares interpretações dadas às fontes por diferentes pensadores do passado), na forma de **estudos de casos [negrito]**

**nosso]**, valorizando a investigação cuidadosa de continuidades e rupturas no processo histórico de construção da ciência (VIDAL; PORTO, 2012, p. 294).

Nessa linha, Martins (2007) também defende a necessidade de compreender a complexa relação entre ciência, tecnologia e sociedade, a partir de estudos de casos detalhados da história da ciência, uma vez que mostram a ciência interligada ao contexto que a influencia, e, vice-versa.

Outros autores também apontaram para esse tipo de abordagem, Stinner *et al.* (2003), Stinner (2008), Reis e Linhares (2008), Portela (2006; 2014), e, Hygino, Souza e Linhares (2012), aqueles dois primeiros contribuíram para estruturar o estudo de caso histórico proposto na aplicação dessa dissertação, partindo de um resgate do contexto histórico de um problema de amplo contexto (PAC) relevante da ciência e da cultura na atualidade.

Dessa forma, sistematizando as ideias desses autores, destacamos pontos importantes para elaboração da estratégia, a saber:

- 1 – iniciar por um problema científico geral;
- 2 - explorar os obstáculos epistemológicos que impedem a superação do problema geral ao *status* científico;
- 3 - revelar as potencialidades e limitações que traduzem o senso comum do sujeito semelhante ao *status* de uma teoria ou lei ultrapassada;
- 4 - entrelaçar intrinsecamente a experiência, a observação e o desenvolvimento de novas leis e teorias dentro desse contexto em estudo.

No que concerne ao segundo aspecto acima destacado, encontra-se bojo ao aproximar da TPC, visto que esta visa o aluno evoluir e ampliar suas concepções oriundas da cultura a qual se insere, a fim de tomar consciência das ideias desenvolvidas sobre um conceito científico nos contextos em que são especificamente aplicáveis.

Nesse sentido, pode-se ressaltar a transitoriedade do conhecimento ao expressar que um esquema conceitual é coerente para um dado tempo e em

outro ele pode ser superado ou modificado, relacionando-o a outros fatores que influenciaram essa mudança, econômicos e sociais, entre outros (PORTELA, 2006).

Baldinato e Porto (2015) discorreram que “nos estudos de caso, a restrição do foco sobre um personagem, debate ou proposição teórica particular busca ampliar o conhecimento do professor/leitor sobre os diferentes modos de pensar que já caracterizaram os estudos sobre a natureza em diferentes contextos” (p. 169).

Para Justi (1998), aprofundar diversos aspectos do desenvolvimento histórico dos conceitos científicos permite ao professor e aluno “aprimorar a comunicação na sala de aula, valorizando a expressão de ideias dos alunos que, embora se afastem das explicações químicas correntes, admitem paralelo com o pensamento filosófico de outras épocas” (BALDINATO; PORTO, 2015, p. 169).

Tendo em vista as diversas contribuições de um ensino pautado na história da ciência anteriormente apresentados, buscou-se aproximar nessa dissertação elementos da TPC com a estratégia de estudo de caso histórico (ECH) defendida pelo programa de pesquisa de Arthur Stinner, haja vista pretender-se promover a evolução das ideias atomísticas para um patamar de racionalidade quântica na sala de aula.

O debate posto em voga direciona a seguir os aspectos teóricos e metodológicos desse programa de pesquisa, através de alguns dos estudos desenvolvidos por ele e colaboradores, a fim de encontrar pontos importantes que direcione a estruturação de nossa estratégia de ECH do conceito átomo/modelo atômico a partir das zonas dos perfis conceituais.

### *1.2.2 – Estudo de caso histórico: o programa de pesquisa de Stinner*

No programa de pesquisa de Arthur Stinner encontramos a abordagem de estudos de casos na história da ciência enquanto estratégia de ensino aprendizagem que possibilita uma visão complexa da atividade científica e da própria ciência na construção de modelos e teorias vinculados a um problema de amplo contexto atual.

A estratégia de ECH como um episódio de a história da ciência, cuja unidade histórica se diversifica metodologicamente ao longo das séries escolar e níveis de ensino. Para isso, delimita-se os critérios de elaboração e aplicação através da captura da imaginação do estudante ao *story line*<sup>15</sup>, ressaltando a necessária contextualização atual com a histórica do conceito-contexto em estudo, e, vice-versa.

Em Stinner *et al.* (2003), encontra-se uma sistematização da abordagem contextual histórica para as aulas de ciências, desde séries iniciais até o ensino superior. Considero, dentro outros anteriores, este estudo como marco significativo da estruturação de estudos de casos históricos, foco dessa pesquisa, na dinâmica da sala de aula.

No trabalho, os autores iniciam apresentando o cenário de pesquisas e de discussão estabelecidas em um evento de ciências humanas e sociais do Canadá para justificarem a necessidade de reorientaram as práticas pedagógicas, principalmente, a abordagem contextual, visto que a visões construídas de ciências, ao longo do processo educativo, vêm favorecendo o entendimento errôneo da natureza da ciência.

Stinner (2008) argumentou que a inserção da história e filosofia da ciência possibilita uma melhor compreensão da natureza da ciência, sendo esta construída de maneira explícita, e encoraja os estudantes a mudarem sua estrutura conceitual, tendo em vista a relação da apropriação posta pelos modelos históricos comparada ao aceite atualmente.

Ainda nesse entorno, foram expostas abordagens contextualmente históricas, intitulados de laboratórios de base histórica e temas históricos. Estes, elaborados e usados na reforma da estrutura e organização curricular no Canada, em cursos e livros-textos escolares.

Para Stinner *et al.* (2003), os professores centram seu olhar apenas no material didático, os quais apresentam os produtos da ciência, e não acreditam ser relevante a especialização histórica, embora considere o desenvolvimento conceitual importante.

Outro aspecto colocado por Stinner (2008) são as justificativas epistemológicas dadas do contexto, apresentando, apenas, de maneira

---

<sup>15</sup>*Story line* é o conflito-matriz de uma história. Extraído em: <<http://cristinasusigan.blogs.sapo.pt/3519.html>>. Acesso em: 15 dez. 2014.

simplista e de uso limitado, o aspecto metodológico das teorias, leis e princípios físicos, através de modelos estáticos e do método científico tradicional, testando e validando hipóteses, ao identificar e controlar variáveis relevantes, o que denota uma visão unicamente empírico-indutivista da atividade científica.

Diante disso, Stinner *et al.* (2003), clarificaram nesse estudo como elaborar e aplicar abordagens contextualizadas historicamente nas aulas de ciências, denominadas de *story line*, haja vista ela capturar a atenção e imaginação dos estudantes na apropriação do contexto em estudo, à medida em que se pretendia apresentar o pensamento criativo da ciência, valorizando a cultura da qual pertencia (e).

Arons (1989) *apud* Stinner *et al.* (2003) argumentou que uma boa história científica deve ser intrinsecamente interessante e mostre conexões não apresentadas pelos livros.

Além disso, discorreu acerca da semelhança dessas pequenas histórias com os casos históricos de Conant, reconhecido pela comunidade científica como o primeiro a introduzir nos cursos de ciências episódios históricos.

Wandersee (1990) citado por Stinner *et al.* (2003) apresentou a forma histórica de Egan ou vinhetas históricas para introduzir os conteúdos de ciências a jovens estudantes.

Para Stinner *et al.* (2003), parece razoável perceber a aproximação da noção de *story line*, entendida em nosso vernáculo como linha histórica, com a estratégia contextual e original proposta por Stinner em diversos trabalhos do fim dos anos oitenta e na década de noventa até os dias atuais, denominada de *Large Context Problem* (LCP), traduzida por nós de Problema de Amplo Contexto (PAC).

Com o objetivo de superar a visão fragmentada, descontextualizada, aproblemática, empírico-indutivista da ciência, o PAC permite um engajamento significativo do aluno com o contexto em estudo a partir de uma ideia unificadora capaz de trazer a imaginação e atenção dos estudantes a ele (STINNER, 2008).

Para tanto, pode-se usar episódios da história da ciência em todos os níveis de escolaridade, sendo eles: vinhetas e histórias científicas, estudo de caso histórico, narrativas científicas e temas históricos.

O desenho e a organização do uso de PAC tão bem quanto os estudos de casos históricos, podem ser utilizados desde as vinhetas históricas até estudos de casos de complexidade ampla.

Já a utilização de unidades históricas da ciência permite incluir mais abordagens, na perspectiva do ensino contextual, colocando o lugar do conhecimento científico nos contextos e na apresentação histórica deles.

Assim, Stinner *et al.* (2003) argumentaram que pequenas unidades são próprias das vinhetas históricas, as quais foram bem detalhadas no estudo de Wandersee citado por Stinner *et al.* (2003) e sendo bem escolhidas e executadas são capazes de conectar o desejo dos alunos com os conceitos e ideias do estudo em questão.

Os estudos de casos seriam definidos por contextos históricos construídos através de uma ideia unificadora, segundo a qual entendemos como sendo detentora de múltiplas conexões conceituais como guia de elaboração dos PAC, como apresentaremos a abaixo.

Stinner *et al.* (2003) orientam que os estudantes devam formar grupos de três, no mínimo, para desenvolverem o estudo de caso, em três partes, uma para cada, valorizando os seguintes aspectos abaixo apresentados:

1. Contexto Histórico – apresentação das ideias do episódio histórico científico em estudo e suas relações com o contexto principal para os colegas;
2. Principais Ideias e Experimentos – apresentação das principais ideias e experimentos que justificam a resolução do caso para os outros estudantes;
3. Implicações dos Estudos Científicos e de seu Ensino – apresentação da relação dos conceitos com a ciência, dizendo qual o lugar deles no currículo, como poderiam ser apresentados, bem como suas ideias e experimentos na sala de aula, e, suas diversas conexões com a discussão do contexto em estudo.

Além disso, conforme Stinner (2008), é necessário trabalhar os PAC com confrontações, ou seja, embates filosóficos e científicos, rivalidades teóricas ou paradigmáticas, segundo Kuhn (2007), o qual usarei mais adiante

como aporte filosófico para a construção da narrativa histórica em naturezas-culturas distintas.

Também destaca a relevância das narrativas temáticas, as quais emergem de temas gerais que perpassam o paradigma disciplinar, visto que valorizam conexões humanísticas e interdisciplinares, como por exemplo, conservação, tempo, evolução, entre outros.

Diálogos escritos e dramatizados sobre as ideias e teorias de cientistas e/ou filósofos as quais se confrontaram, tais como as ideias de Copérnico e Aristóteles, o criacionismo e o evolucionismo, a teoria do flogístico e a do oxigênio, defendida por Priestley e Lavoisier, nessa ordem, são importantes para explicar a combustão e calcinação.

E, por fim, as dramatizações, as quais compreendem a produção de dramas escritos e apresentados no formato de um debate público sobre as ideias histórico-científicas e o seu contexto de aplicação e estudo, como a idade da terra, a vida de Galileu e outros.

A partir das colocações apresentadas pelo grupo de pesquisa de Arthur Stinner, pode-se perceber a defesa da construção do currículo das ciências naturais humanizado, baseado na ideia de contexto atual e histórico, e ligado à estrutura conceitual, consoante Stinner *et al.* (2003).

Em uma relação indutivista-dedutivista, o ensino contextualizado, de temas históricos científicos ou da ciência popular, para eles, deve ser construído em uma sucessão de experiências empíricas e teóricas, desde muito cedo, no processo de escolarização.

Dessa forma, Stinner (2007) argumentou que o contexto histórico pretende motivar e engajar o estudante em uma emocionante *story line*, os quais são apresentados com um conjunto de experiências pela primeira vez.

Para ele, atividades como essas, orientam o desenvolvimento dos modelos conceituais, o que permite-me aproximar com as discussões do programa de pesquisa dos perfis conceituais, pois os modelos científicos não devem ser impostos aos estudantes, visto que suas ideias prévias devem ser valorizadas e construídos a partir delas.

Dessa forma, os professores devem planejar e orientar o aluno para reconhecer e construir domínios específicos do conhecimento, chamado na TPC de modos de pensar e formas falar o conceito em estudo, e,

principalmente, a aplicabilidade e eficácia do científico, os quais sendo bem colocados, através das experiências e maneiras de pensar do estudante, podem favorecer o estabelecimento de pontes para os alunos, em uma espécie de “andaime” do saber, para sua apropriação e evolução conceitual.

Dos seis aos dez anos de idade, Stinner *et al.* (2003) orientaram que as investigações propostas para os estudantes sejam apresentadas publicamente sua visão de mundo a partir de observações, inferências, falas, escritas, danças, desenhos e canto.

Para isso, explicitaram que o uso de estórias ou vinhetas científicas permiti o aluno realizar essas atividades conectando-as com os conceitos físicos.

A sequência de aulas deve ser cuidadosamente planejada, partindo do raciocínio e experiências comuns deles para construir exemplos, analogias, temas, teorias e/ou modelos.

Os alunos de 11 aos 14 anos de idade, sugere-se que as atividades de contexto e de primeiras estórias sejam vinculadas a abordagem de estórias científicas históricas e pautadas na realidade e nos problemas da atualidade de interesse deles.

Enquanto os de 15 aos 18 anos de idade, acredita-se que os estudos de casos e os temas científicos podem ser inseridos a partir de uma ideia ou experimental central, tais como a natureza corpuscular da matéria, a noção de conservação, a dualidade onda-partícula, entre outros.

Para os de nível superior, geralmente, idades superiores a 18 anos, aborda-se problemas de ampla extensão de discussão do contexto, sem eximir detalhes próprios a ele, inclusive, a complexidade matemática envolvida no entendimento dele.

Além disso, a possibilidade de estabelecer relações entre ciência, tecnologia e sociedade, incluindo estórias científicas, nesse cenário contextual, a partir de temas populares os quais direcionam o debate para o pensamento científico.

Segundo Stinner *et al.* (2003), também foram desenvolvidos LCP e aplicados com estudantes das Universidades de Manitoba e Winnipeg, Canadá, sobre temas científicos com implicações sociais e tecnológicas, ou seja, usando problemas envolvendo ciência-tecnologia-sociedade (CTS), a

saber: energia nuclear; processamento e irradiação de alimentos; engenharia genética.

Então, o grupo de pesquisa de Arthur Stinner aqui apresentado orientou seus estudos, no sentido de inserir o debate de uma nova historiografia da ciência na dinâmica da sala de aula ao longo do processo educativo.

Para tanto, é defendido, claramente, um ensino de ciências eclético, sem muros disciplinares, transpassado pela arte e problemas atuais, segundo os quais o torna humanizado, sem os livros-textos assumirem o lugar central dos argumentos das aulas de ciências.

Contudo, atingir essa perspectiva de ensino, faz-se necessário uma formação adequada de professores, balizando um bom conteúdo específico e pedagógico do ensino da ciência a qual ensinará (STINNER *et al.*, 2003).

Em síntese, Stinner *et al.* (2003) propuseram maneiras de trabalhar os conceitos científicos contextualmente da seguinte maneira: “estas atividades envolveriam mesas de ar para estudar o movimento qualitativamente, assistindo e discutindo objetos em queda no ar e vácuo, **aprendendo que palavras tem diferentes significados em diferentes contextos [negrito nosso]**, discutindo imagens e passagens de histórias e filmes e discussão, depois fazendo experiências óbvias, que precisam clarificar as definições em ciência” (p. 623).

O negrito destacado sinaliza a relação das ideias desses dois programas, o perfil conceitual e de estudo de caso histórico, apresentados nessa dissertação, sobre o *status* da linguagem científica na sala de aula.

As possibilidades de abordagem da história da ciência no ensino das ciências apresentadas nos pressupostos teóricos e metodológicos de Stinner *et al.* (2003) e Stinner (2008), pode ampliar a construção da matriz semântica de proposição dos perfis conceituais por meio de naturezas-culturas distintas que vão circundar as unidades temáticas históricas, como será discorrido nos tópicos seguintes.

Além disso, mostra-se possível estruturar essa estratégia de ensino e aprendizagem através das zonas do perfil conceitual de átomo, proposto por Mortimer (2000), ao contextualizar a história da ciência na discussão de um fenômeno a fim de enriquecer visões científicas do PCA, sobretudo, na transição da visão clássica para a quântica.

É nesse sentido que buscamos unir esses programas de pesquisas debatidos nesse capítulo da dissertação, o dos perfis conceituais com o do estudo de caso histórico para balizar esse estudo como inovação pedagógica, visto que debruço sobre o contexto de ensino e aprendizagem.

Para isso, depreende-se que os estudos do programa de pesquisa de Arthur Stinner direcionam um ensino de ciências contextualmente histórico e construído pelo viés artístico, lúdico, dramático, teatral e argumentativo, tornando a educação em ciências crítico-humanizadora e promotora da formação cidadã democrática.

No próximo tópico apresentamos as ideias que permeiam o conceito de átomo na história da ciência, por estudantes e envolvendo a produção do fogo artificial na literatura.

### 1.3 – Concepções atomísticas

Com o propósito de nortear a discussão envolvendo os modos de pensar e as formas de falar o conceito de átomo, estabelecemos uma trajetória histórica em que evidencie os momentos de rupturas e continuidades sobrepostas sobre seu desenvolvimento. Em seguida, alguns trabalhos da literatura que trouxeram ampliações e novos elementos semânticos oriundos de estudantes sobre a compreensão desse conceito em contextos específicos de estudo, como, por exemplo, o da queima dos fogos de artifício. Além disso, ideias relacionadas à produção do fogo artificial na história e o atomismo.

Para isso, dividimos os tópicos vinculados à defesa e à negação da ideia de átomo nos aspectos descritos no parágrafo anterior.

#### 1.3.1 – *Antiatomismo filosófico*

A origem das ideias antiatomistas emergiram na Grécia antiga com os filósofos pré-socráticos, entre os séculos VII e V a.C., por terem sido considerados pela historiografia das ciências os primeiros a especular a natureza da matéria, no tocante à constituição, às transformações e à relação com o divino. O modo como executavam essas explicações era por princípios físicos simples e observações regulares de fenômenos naturais, caracterizadas

pela epistemologia empírica ou experiência primeira, como defende Bachelard (1996).

Consoante Maar (2008), somente com os relatos das observações regulares da natureza no período helênico foi possível trazer a noção de princípio primordial único, elemento ou infinitos princípios para a constituição de a matéria.

Chassot (1994) apresentou a escola Jônica e trouxe representantes que se vincularam a essa ideia anteriormente apresentada, tais como Tales de Mileto (640-548 a.C.) considerado explicar ser a água o princípio formador de tudo sem relacionar ao poder sobrenatural; Anaximandro (610-547 a.C.) chamou de *apeiron*, significando o indeterminado ou ilimitado, isto é, uma substância eterna, indestrutível, invisível, infinita que possui movimento. Uma vez que para ele os elementos da natureza, água, terra, fogo, ar, neve, não poderia ser o princípio de tudo por eles sofrerem transmutações.

Para Heráclito de Éfeso (540-475 a.C.) seria o fogo elemento e causa das mudanças em outros elementos a cada instante, tudo flui, não de maneira arbitrária, mas racional (*logos*), de onde advém a dialética abstrata do mundo. Isso era devido ao dinamismo eterno que o anima (CHASSOT, 1994; MAAR, 2008).

Diógenes de Apolônia (499-428 a.C.) ao investigar a cosmogonia e a fisiologia considerou o ar como unidade funcional das partículas últimas, semelhante a ele, Anaxímenes (588-524 a.C.) considerou ser o ar infinito ou o *pneuma apeiron*, atribuindo a este a liga mantenedora da união de todo o universo, comparando o ar a nossa alma, por meio da rarefação e da condensação (CHASSOT, 1994; MAAR, 2008).

Em Xenófanes de Colofônia (560-476 a.C.) a terra seria uma espécie de matéria primordial que defendia a unidade ao invés da diversidade dos objetos, considerados por ele como aparente (MAAR, 2008). Pois, a realidade é o todo, ou seja, um é tudo, ao defender a unidade divina como forma de conhecer o todo e a tudo governado pelo pensamento. Isso direciona uma outra visão ontológica, a panteísta, desprovida do antropomorfismo (CHASSOT, 1994).

Sobre a ideia de tempo, Zenão de Eléia (490-430 a.C.) refutou o mobilismo e o pitagorismo, por meio da poesia épica de Homero ao falar do paradoxo da corrida entre Aquiles e uma tartaruga, como era comum nos

escritos deles que a prosa, a saber: “se o espaço é infinitamente divisível, é impossível percorrer qualquer distância, já que não se pode percorrer uma distância infinita de segmentos espaciais em um tempo finito” (CHASSOT, 1994, p. 35).

Anaxágoras de Atenas (499-428 a.C.) discorreu que as sementes são o princípio de todas as coisas, pois elas são governadas pelo pensamento, já se misturam e separam de forma caótica. Enquanto Empédocles de Agrigento (490-435 a.C.) atribuiu a fusão de quatro princípios fundamentais ou raízes: terra, ar, água e fogo. Atribuídos da indestrutibilidade e da mobilidade, por meio da existência de duas forças, o amor e o ódio, explicou a formação e separação das substâncias, semelhante à Heráclito. Aspecto marcado da ontologia dualística da matéria em uma visão antropomórfica (CHASSOT, 1994; MAAR, 2008).

Embora se tenha no Ocidente paradigmas distintos para explicar a constituição da matéria e suas transformações, denominadas de transmutações, por serem práticas alquímicas. Como em outras civilizações do Oriente, tem-se as mesmas ideias sobre a composição elementar, incluindo, os metais devido ao domínio da metalurgia.

Aristóteles de Estagira (384-322 a. C.) mantém as ideias de Empédocles sobre a teoria dos quatro elementos – acredita-se que foi Platão quem assim denominou – como modelo explicativo da natureza, porém inclui um quinto, denominado de quintessência, o éter, preenchendo a matéria do universo, a fim de fugir da ideia de vácuo (CHASSOT, 1994; MAAR, 2008).

Segundo Maar (2008, p. 31), Aristóteles definiu elemento como a matéria primordial ou “um dos corpos em que os demais corpos podem ser decompostos e que ele próprio não pode ser dividido em outros”. Caracterizado por proporções variáveis entre duas qualidades, umidade, quente, frio e secura, para converter um elemento em outro, substituindo pela qualidade oposta. Esse processo também foi atribuído as substâncias em práticas alquímicas de transmutação.

Sabe-se desse cenário filosófico descrito que paradigmas teóricos e práticos continuavam sendo desenvolvidos paralelamente, pois a epistemologia indutiva não era usada para explicar a dedutiva e, vice-versa. Contudo, as tentativas de explicar esses processos de transmutação, faziam uso de

denominações procedimentais como solidificação/dissolução, liquefação/vaporização, condensação/rarefação, sublimação/condensação.

Por longos séculos, o pensamento filosófico foi vinculado ao pensamento religioso, tendo a teoria de Aristóteles por quase 2000 mil anos. Mas, com o desenvolvimento da Iatroquímica de Paracelso, no século XVI, a ideia de três elementos, mercúrio, enxofre e sal, se fortaleceu através das práticas experimentais médicas. E, somente com Van Helmont se desconsiderou ambas as ideias, passando a considerar semelhante a Tales, ser água.

Na renascença, conforme Viana (2007), o cartesianismo de Descartes se tornou oposição ao atomismo por sua concepção de universo pleno, contínuo e infinitamente divisível. A materialidade de sua filosofia se baseava em uma visão reducionista e mecanicista vinculada a lei da Inércia de Newton, por ser concebida como uma matéria tênue, com movimentos formando vórtices, onde os corpos faziam suas trajetórias curvas desviando-se de seu movimento retilíneo e determinado.

É importante destacar que os paradigmas se faziam presentes quase que simultaneamente e oriundos das epistemologias empirista de Francis Bacon e racionalista cartesiana de Descartes.

### *1.3.2 – Atomismo filosófico*

O atomismo grego tem origens nas ideias de Leucipo e Demócrito (460-370 a.C.), entendido como última partícula indivisível da matéria. De ontologia dualística elética (Parmênides), a natureza do Ser seria um todo eterno, indiferenciado, com mobilidade e descontínuo; e o não-Ser é o vácuo e não existe.

Maar (2008) caracteriza a sistematização da teoria atômica de Demócrito em quatro categorias, a saber:

- toda matéria se subdivide em átomos eternos indestrutíveis, que não tem causa;
- cada espécie de matéria é constituída por átomos qualitativamente iguais (há, pois, um número infinito de tipos de átomos);
- os átomos estão em contínuo movimento no vácuo;

- os diferentes tipos de átomos diferem em forma, tamanho e massa (MAAR, 2008, p. 34).

Do exposto, rompe-se com os fenômenos físicos observáveis, pois a aceitação atômica se dá pelo movimento no espaço e isso é o valor de uso da pragmática a que se vincula a única realidade possível.

Outro aspecto importante é a cosmogonia defendida por Demócrito ao explicar a construção de corpos diferentes, por meio do movimento dos átomos a todas as direções, e, quando são semelhantes, os choques entre eles formam entidades maiores. Isso tudo ocorre sem forças que não sejam da natureza ou divinas.

Deveras, é salutar destacar a epistemologia que explicita a elaboração dessa ideia. Para Maar (2008, p. 35), “é fruto da intuição, uma ideia, uma imagem, um modelo para o mundo físico”. Pois, não há racionalidade argumentativa por hipótese dedutiva chegar à teoria atômica.

Chassot (1994) apontou para o átomo quantitativo de Pitágoras de Samos (582-497 a.C.) por considerar que tudo no universo é harmonia. Isso quer dizer que o número é a única representação total da realidade e verdade eterna.

Além deste, tem-se o atomismo geométrico de Platão (428-348 a.C.) influenciado pelo pitagorismo que se diferencia do de Demócrito por não admitir o vácuo e acreditarem que o espaço entre os constituintes seja totalmente preenchido por outros deles. Porém, não vigorou dada a grande aceitação da filosofia aristotélica (MAAR, 2008).

Diante disso, Filolau associa cinco sólidos geométricos (tetraedro, octaedro, cubo, icosaedro e dodecaedro) aos cinco elementos da teoria de Aristóteles (fogo, ar, terra, água e o éter), nessa ordem (MAAR, 2008).

Na escola de Epicuro, criou-se uma variante da teoria atômica de Demócrito. Atribuindo a noção de peso dos átomos o elemento essencial e irreduzível da matéria para explicar o movimento incessante deles até se direcionar para baixo (VIANA; PORTO, 2007).

E, é justamente esse aspecto que torna a teoria atômica de Epicuro contraditória por assumir coerentemente os aspectos da cosmologia finitista aristotélica.

Diante de questões epistemológicas que não puderam ser respondidas com essa ideia para os desvios das trajetórias, o filósofo ainda insisti na justificativa das quedas promoverem aproximação e, conseqüentemente, combinações entre os átomos.

Na Renascença, o atomismo de Epicuro é resgatado por registros de Diógenes Laércio. Em Pierre Gassendi (1592- 1655), o atomismo assume crítica ao cartesianismo de Descartes, embora ambos sejam ideias reducionistas e mecanicistas, esse não forneceu uma natureza física quantitativa. E, aquele defende a concepção corpuscular como essencial à realidade material corresponder de racionalidade à realidade objetiva (VIANA; PORTO, 2010).

No entanto, Viana e Porto (2010) argumenta que os vínculos religiosos do cristianismo de Gassendi fez manter conciliação à doutrina atomística. Isso provocou distanciamento do mecanicismo anterior apresentado, por considerar o movimento e a colisão entre os átomos através da casualidade imaterial e final ou divina.

O século XVII reuniu nomes adeptos do atomismo tais como, o Christiaan Huygens, Robert Hooke e Robert Boyle, entre outros, com a tentativa de se desvencilhar da Alquimia, perspectiva imbuída de magia e esoterismo, e explicar os fenômenos da natureza a partir de conceitos sobre a matéria e o movimento.

Com isso, o químico Robert Boyle (1627-1691), publicou o Químico Cético, obra que rejeitara a visão grega dos quatro elementos e enunciara o conceito de matéria primordial e a lei de Boyle, trazendo novamente a visão grega de minúsculos 'corpúsculos' permeados por um grande espaço vazio na explicação da natureza dos gases (MAAR, 2008).

Viana e Porto (2010) ratifica que Boyle defendia a concepção de elementos químicos como aglomerados de átomos, e as propriedades deles não são vinculadas à essas unidades, mas dependente do movimento e da organização deles.

### *1.3.3 – Antiatomismo científico*

A história do movimento de cientistas que não defendiam o átomo químico nem físico, denominado de energeticismo do século XIX cuja base era compreendida pelas ideias antimecanicistas das leis e teorias fundamentadas no instrumentalismo empírico ou fenomenológico da termodinâmica química, opositores do positivismo lógico do Círculo de Viena por acreditarem que os atomistas levariam a ciência a decadência (OKI, 2009).

Pereira e Silva (2018) afirmaram que os energeticistas não faziam uso da hipótese ou imagem atômica por que somente os métodos físico-matemáticos poderiam dar confiabilidade ao progresso da ciência, inspirados na epistemologia idealista Immanuel Kant (1724-1804), contrário à materialidade do mundo, emergindo a visão organicista e unificada da natureza baseada na filosofia de Friedrich Schelling (1775-1854).

Oki (2009) trouxe a questão de controvérsias entre químicos e físicos sobre a hipótese atômica porque para aqueles se tornou necessária ao progresso dos conhecimentos químicos e para esses ainda consideravam a existência dos átomos por uma ideia metafísica.

Esta dimensão filosófica que se opunha ao realismo ingênuo dos modelos mecânicos de átomo, melhor dizendo de característica convencionalista ou instrumentalista, quanto ao compromisso epistemológico em que se vincula (PEREIRA; SILVA, 2018).

#### *1.3.4 – Atomismo científico*

No século XIX, com o desenvolvimento da teoria cinética e das fórmulas estruturais da química orgânica se encontrou evidências da aceitação da hipótese atômica clássica proposta em 1803 por John Dalton (1766 – 1844), segundo Medeiros (2005, p. 6), “inspirada pelas lições de Lavoisier, (...) mais refinada que a Teoria dos Corpúsculos de Boyle – surgiu dos fatos expressos pelas leis das combinações químicas (Lei das Proporções Definidas, Lei das Proporções Múltiplas, Lei das Proporções Recíprocas)”.

De acordo com Maar (2011), o desenvolvimento conceitual da ciência, a partir de Dalton, passou a ter uma estruturação lógica e racional. Assim, as descobertas do século XIX trouxeram grandes impactos que puderam

desenvolver outro modelo atômico, proposto por John Thompson ao conseguir medir a velocidade dos raios catódicos (1894) e a massa do elétron (1898), revelando a existência de uma partícula subatômica, o elétron, cujo peso é inferior 2000 vezes ao do átomo de hidrogênio (PEDUZZI, 2008).

Segundo Lopes (2009), os cientistas do século XIX estruturaram suas investigações em uma relação epistêmica empírica e teórica. Para ele alguns eventos relacionaram os modelos de transição do clássico para quântico, Rutherford e Bohr, influenciados por outros pares, os quais emergiram novas áreas do conhecimento, trabalhos que serviram de sustentáculo às teorias, bem como as relações afetivas e pessoais de cada um, dentre elas: física atômica, eletromagnetismo, radioatividade, ligações químicas, molécula, valência e astroquímica.

Só que investigando os documentos originais, ampliou os modelos que contribuíram para o modelo atual, sendo eles: Hantaro Nagaoka (1865-1950), Joseph John Thomson (1856-1940) e John William Nicholson (1881-1955).

Além disso, o autor deixa claro que os indícios quânticos nos modelos atômicos iniciaram com os trabalhos de Max Planck (1858-1947) sobre a radiação do corpo negro. Permitindo caracterizar os átomos quantizados de Nicholson e Bohr.

De acordo com Oki (2009), apenas com aceitação da teoria atômica de Dalton foi possível legitimar os novos dados empíricos e processos tecnológicos envolvidos. Apesar da resistência dos não atomistas, esse novo paradigma permitiu compreender diferenças conceituais como mistura e composto.

A noção de pesos atômicos e os estudos sobre a meteorologia definidos por Dalton modificou significativamente o modo de operar na química, trazendo um viés quantitativo.

As controvérsias científicas sobre o atomismo no século XIX, resultantes de diversos embates científicos e filosóficos entre dois grandes grupos, os defensores do atomismo químico, baseado nos pesos relativos dos elementos e fórmulas moleculares, e do atomismo físico, relacionado ao mecanicismo e a existência de partícula na matéria.

No entanto, na segunda metade do século XIX, essas duas visões unificaram, permitindo a comunidade científica reconhecer um átomo

estruturado, onde novas propriedades estavam sendo detectadas empiricamente através de tecnologias que indicavam a possível relação da eletricidade na estrutura do átomo.

Oki (2009, p. 69) argumenta que “o átomo maciço e indivisível deu lugar a um novo átomo vazio e estruturado. Os modelos de átomo de J. J Thomson e Ernest Rutherford (1871-1937) tornaram-se o princípio de unificação da Física e da Química e levaram, naquele contexto, à rejeição do conceito de textura contínua da matéria”.

A descoberta da radioatividade também possibilitou a descoberta de novas partículas, formadas pela desintegração de elementos químicos, das quais Rutherford descobriu que defletindo as partículas alfa, “a maior parte da massa do átomo teria de estar concentrada em um minúsculo núcleo carregado em seu centro” (MEDEIROS, 2005, p. 8). Modificando o modelo atômico, ao propor que a carga elétrica, a eletricidade, não era central, mas distribuída uniforme e esférica.

Isso assinalou o início da moderna compreensão da estrutura do átomo no século XX. Aprofundando conceitos como íons, átomos, valência, magnetismo e combinação química.

Ademais, esse modelo atômico precisava da elucidação da estabilidade mecânica e eletromagnética para justificar o fato de elétrons em órbita não serem sugados pelo núcleo. Logo, James Chadwick (1891-1974), discípulo de Rutherford, confirma a existência dos neutros.

Lopes (2009), afirma que a radioatividade permitiu Rutherford chegar no núcleo do átomo, embora outros tenham chegado por outros caminhos. Concomitantemente, os trabalhos de Faraday permitiram juntamente com os de George Johnstone Stoney (1826-1911), atribuiu-se a carga eletrônica perdida pelo íon hidrogênio.

Além desses, os experimentos com os raios catódicos, feitos por Thomson, em 1897, permitiram que essa natureza elétrica fosse interpretada por ele como corpúsculos de partículas negativas, bem como os raios X e canais decorreram do experimento de descargas elétricas em tubos de vácuo pelo Sir William Crookes.

Para Lopes (2009), a teoria dos elétrons, põe em questão a aceitação do vácuo, em detrimento da existência do éter, como fluido que preenche todos os

espaços. Outro estudo importante sobre o debate das partículas foi de Joseph Larmor (1857-1942), incluindo a hipótese do éter enquanto fluido sem atrito, porém com características inertes.

Nesse sentido, a interpretação do átomo constituído de elétrons, sejam positivos ou negativos, em movimento orbital estável em torno uns dos outros, como um aglomerado de estrelas e sistemas, onde, assim como, no éter, admite-se o movimento dos elétrons envolvendo a energia e o meio. Fazendo compará-lo a um sistema solar em miniatura.

Ainda esse autor suscitou que teoria atômica permitiu uma nova interpretação para a eletricidade e o magnetismo, porque ao considerar a corrente elétrica o motivo da movimentação dos elétrons, as causas magnéticas são decorrentes de sua rotação. Tornando nítido o cerne da interpretação do spin do elétron.

Além disso, Lopes (2009) também relatou a contribuição desse programa de pesquisa na busca pela estrutura das substâncias e elementos através de modificações nas propriedades físicas, como temperatura e pressão. Destacando-se o efeito Zeeman, o qual descrevia a influência de um campo magnético nos espectros de emissão das substâncias, fundamental para proposição dos modelos atômicos.

Ao se apropriar da teoria eletrônica de seu professor Lorentz, concluiu que a radiação era proveniente do movimento de uma partícula carregada negativamente. Essa aproximação entre magnetismo e luz, permitiu ele chegar à relação  $e/m$ , assim como Thomson, só que este por outro caminho.

Nesse contexto, foi introduzido um novo conceito a física por Max Planck (1858-1947) em 1900, que a física clássica não explicava como a radiação do corpo negro e a emissão de partículas carregadas (elétrons) por metais expostos a radiação de certas frequências - o quantum elementar de ação – na tentativa definitiva de mostrar que, segundo Peduzzi (2008, p 5), “no domínio atômico a física deve lidar com um mundo regido por leis e regras muitas vezes estranhas à física clássica, que não admitem analogias puras e simples com fenômenos já conhecidos”.

Assim, surge o modelo atômico de Bohr, figurado como um sistema solar pequeno, para explicar a estabilidade intrínseca das configurações eletrônicas e os espectros de emissão da radiação emitida pelos elementos químicos.

O modelo atômico de Böhr defendido em sua tese de doutorado, em 1911, sobre o comportamento dos elétrons quanto à condutividade e outras propriedades dessas partículas metálicas livres, prenuncia a dificuldade de a mecânica clássica elucidar essas questões.

Segundo Lorentz (1905) citado por Ramírez, Badillo e Miranda (2010), a compreensão do movimento dos elétrons seria possível com base em dois princípios, a saber:

a) na ausência de campos externos ou diferenças de temperatura os elétrons e os átomos permanecem em equilíbrio mecânico, ou seja, só na presença de uma força eletromotriz os elétrons se dispersariam gerando uma corrente elétrica e b) se não atuam forças externas, os átomos atuam isotropicamente sobre os elétrons livres (RAMÍREZ; BADILLO; MIRANDA, 2010, p. 09, **tradução nossa**).

E, é nesse contexto que Böhr encontra sua grande questão, entender matematicamente, a luz da teoria de Lorentz, a mecânica estatística de elétron em choque com os metais, sendo suposto que salta elasticamente, segundo o modelo de Dalton, sem ter efeito significativo, exceto quando se manifesta na forma de calor.

Então, Böhr decide trabalhar no Laboratório de Cavendish (Cambridge/Inglaterra), liderado por J. J. Thomson, porque aquele tem profundo respeito por este e considerá-lo um grande centro de pesquisa da física.

Com a sua aproximação às pesquisas do centro, como as de radiação e magnetismo, Böhr desenvolve interesse em compreender tais aspectos com as questões trazidas por ele. Passando a conhecer o modelo proposto por J. J. Thomson e seus pares como resultado dos estudos desenvolvidos a partir dos experimentos com raios catódicos.

Para Thomson (1984) citado por Ramírez, Badilla e Miranda (2010, p. 10, **tradução nossa**), ele consistia “em uma esfera com eletrificação uniforme positiva que é neutralizada por uma massa de elétrons negativos que se encontram em anéis coplanares e concêntricos à esfera e com densidade de carga constante”.

Entretanto, mesmo com a pouca complexidade explicativa dessa proposta, Thomson a utilizava para elucidar questões da combinação química,

da organização da tabela periódica, da dispersão de partículas alfas e uma pequena iniciação das questões do efeito fotoelétrico. Sendo este o aspecto que mais despertou o interesse de Böhrr como se destaca no seguinte trecho:

em razão disso que neste modelo um elétron descreveria uma órbita circular sob a influência de um momento bipolar elétrico  $\mathbf{P}$ , não obstante, não são todas as órbitas que podem ser calculadas, o que chamou a atenção do investigador foi que um valor incorporado por Thomson se correspondia com a constante de Planck multiplicada por três e que logo realizados todos os cálculos, os valores coincidiam com  $h\nu$ , a equação de Planck. (RAMÍREZ; PADILLA; MIRANDA, 2010, p. 11, **tradução e destaque nosso**).

Ao chegar no grupo de E. Rutherford, em 1912, na cidade Manchester, Böhrr começou a trabalhar com as questões da radioatividade, desenvolvida por Geiger e Marsden, e se apropria da proposta atômica desse grupo. Sendo este idealizado, a partir do experimento de deflexão de partículas alfas, com um núcleo positivo e um aglomerado de elétrons girando a uma certa distância.

Contudo, apesar de seu distanciamento pronunciado do modelo proposto por Thomson e seus pares porque a experimentação do modelo de Rutherford corroborou de maneira melhor, Böhrr continua inquieto quanto à instabilidade do conjunto de elétrons no modelo nuclear.

A partir de então, ele tenta mostrar de forma simples, através de cálculos, o fato de o elétron irradiar energia continuamente, descrevendo posições nas órbitas ao redor do núcleo, em decorrência do aumento da frequência e do ganho de energia cinética.

No entanto, ele percebe que a eletrodinâmica clássica não consegue explicar as dimensões atômicas e as frequências fixas, para resolver isso, ele insere o valor da constante de Planck, justificando, assim, a estabilidade do sistema eletrônico, haja vista melhor relacionar a massa e a carga dessas partículas.

Em menção a esse ocorrido, é que os autores consideram o modelo atômico de Böhrr, como modelo semiquântico, assim descrito:

O modelo semiquântico tem um núcleo positivo com um elétron de massa muito pequena comparada com a do núcleo e se move a velocidades menores à da luz, com órbitas estacionárias circulares e cercadas a certa distância do núcleo, se não existir uma perturbação externa, um elétron em estado estacionário não emite energia e possui um valor que corresponde a um número inteiro  $t$ , se  $t = 1$  a energia cinética do elétron é maior pelo tanto que é o valor igual a 1,

sendo este o estado mais estáveis do sistema nuclear – elétron. Introduzindo a constante de Planck nos cálculos. Bohr nota que os resultados concordam com outros valores como os de potencial de ionização, frequência óptica e as dimensões lineares dos átomos (RAMÍREZ; PADILLA; MIRANDA, 2010, p. 13, **tradução nossa**).

Mas, só depois do modelo proposto por J. W. Nicholson, em 1912, que Böhr passou a relacionar a constante de Plank com a ideia dos anéis onde os elétrons se movem dentro de uma região que explicam visualizações astronômicas.

Ao criar um modelo baseado em relações matemáticas, Böhr passou a esclarecer as linhas espectrais de hidrogênio, visualizadas por Balmer (1885), e a radiação contínua emitida durante o deslocamento entre os estados estacionários, a partir do cálculo de frequência  $W_{t2} - W_{t1} = hv$  (h – constante de Planck; t – número inteiro).

Assim, Ramírez, Padilla e Miranda (2010, p. 13 e 14) argumentam sobre alguns aspectos desse modelo proposto a seguir:

Um sistema atômico nuclear e um elétron estão em equilíbrio quando o momento angular dos elétrons é igual a um número inteiro múltiplo de  $h/2\pi$ . Para fazer corresponder o modelo com a lei de Kirchhoff da radiação térmica, os espectros de absorção tem a mesma frequência dos espectros de emissão; a condição para que um único elétron absorve energia é que deve estar em um estado estacionário A2, cujo valor é menor comparado com um estado estacionário A1, porque em condição ordinária o hidrogênio não absorve radiação, fazendo-o unicamente quando o gás está em estado luminoso (RAMÍREZ; PADILLA; MIRANDA, 2010, p. 13 e 14, **tradução nossa**).

Entretanto, as questões matemáticas relacionadas ao movimento elíptico dos elétrons, só foi solucionado por Sommerfeld com a teoria da relatividade de Einstein, explicando a estrutura fina do espectro de hidrogênio, uma vez que o método usado por Böhr não permitia definir o número de órbitas que o átomo poderia descrever, devido ao aumento gerado.

Mesmo com todo esse progresso para explicação dos fenômenos atômicos observados, os espectros ópticos e de raios X só foram melhor explanados depois da elaboração do princípio da Exclusão de Pauli, como também o efeito Zeeman, que relaciona como um campo magnético afeta um espectro luminoso, depois da hipótese do spin proposta por Goudsmit e Uhlenbeck, onde os elétrons descreveriam um movimento em seu próprio eixo, com momentos magnéticos e angular próprios.

Diversas questões foram motivo de controvérsias para descaracterizar o modelo semiquântico de Böhr, como defendido por Ramírez, Badilla e Miranda (2010), a saber:

1 - Série de Fowler, conhecida como série do hidrogênio, foi proposta em seu laboratório como um espectro observado semelhante as linhas visualizadas no sol, em 1898, a partir do hidrogênio e hélio;

2 - A fórmula empírica de Rydberg passou a concordar com a matemática do modelo de Böhr, tendo em vista este poder ser aplicado para duas teorias, quando se estuda as propriedades do estado estacionário do sistema de elétrons, a mecânica clássica responde as questões do sistema por estar em equilíbrio dinâmico, mas, quando for estudado em transição, aplica-se a teoria de M. Planck.

Contudo, os cálculos da série de Fowler não coincidiam com os do modelo de Böhr. Diante disso, Böhr elabora um modelo com hélio ionizado para produzir a série de Fowler, tendo em vista o hidrogênio poder ser acceptor de um elétron e se tornar negativo.

Outro ponto que ainda não convergia, as longitudes das ondas produzidas pela série do hélio, para isso, Böhr propõe a redução das massas e assim ajusta a série de Fowler com o seu modelo.

Mesmo assim, tais aspectos trouxeram muitas discordâncias e resistência na comunidade científica. Cientistas como De Broglie, Thomson, Heisenberg e Schrödinger criticavam fortemente as propostas de Böhr como descreve o trecho a seguir:

De Broglie (1952) questiona que o modelo não pode precisar a totalidade da natureza, as intensidades e o estado de polarização da radiação; considera artificialmente a aliança entre a dinâmica clássica e a teoria quântica, por que os elétrons apresentariam um comportamento caótico e contraditório; Schrödinger (2001) discute que o modelo só é aplicável a sistemas muito simples como o hidrogênio, critica sua origem e a dualidade plantada entre a mecânica clássica e mecânica quântica, pois não se especifica o tempo em que se fazem as transições e também não se explica o estado em que o sistema falha durante a maior parte do tempo. Por sua parte, Heisenberg (1927) questiona a credibilidade que pode ter a existência de órbitas como o postula Bohr, visto que não se pode

medir sua existência, o qual é refutado por Einstein, pois afirma que é a teoria a que diz que se deve observar. (RAMÍREZ; BADILLA; MIRANDA, 2010, p. 17 e 18, **tradução nossa**).

E, é nesse contexto, que Böhr propõe o princípio da complementaridade para poder validar a relação da eletrodinâmica clássica, enquanto teoria que explicaria os fenômenos do universo macroscópico, com a quântica, explicando o microscópico. Sendo aquela resultante dos processos elevados desta.

Então, os elétrons nas órbitas estacionárias estariam em concordância com o átomo de Rutherford, resolvendo o problema da instabilidade do sistema de elétrons desse modelo. Além disso, o modelo de Böhr explicou as linhas da série de Balmer e Paschen, prediz as linhas de Lyman, Brakett e Pfund, mesmo tendo dificuldades de explicar os espectros de raios X e o comportamento de um sistema com muitos elétrons.

O grupo de investigadores, citados anteriormente, continuaram a propor novas explicações para o sistema quântico, e, assim, esse modelo ser abandonado, a saber:

- 1 - De Broglie com o olhar ondulatório para o elétron, a dualidade onda-partícula;
- 2 - Heisenberg explicando a partir da mecânica matricial;
- 3 - Schrödinger esclarecendo o conceito de partícula e órbita a partir da mecânica ondulatória.

Apesar de todo esse avanço, a estrutura atômica ainda se assemelhava ao modelo atômico estático de Dalton e as ideias sobre a teoria ondulatória da luz na análise espectral era análoga aos fenômenos acústicos.

Hermoso e Ornellas (2009) apresentou uma alternativa para o entendimento da função de estado, na visão Química, decorrente da resolução da equação de Schrödinger, considerando seus momentos lineares.

O espaço de coordenadas ou representação da posição das partículas, na visão clássica, apresenta distintas posições, dada o câmbio energético, enquanto na visão quântica, sua maneira de ver é não usual, considerando o

sistema relacional de interação físicas inalteradas, bem como as energias definidas em cada estado, ou seja, tornando invariante sua forma de representação.

Crisafulli (2011) discorre sobre a mudança qualitativa ocorrida nas explicações da realidade física, até o século XIX por uma percepção contínua das entidades físicas macroscópicas, oriunda da mecânica clássica, e início do século XX por uma imagem discreta dos sistemas físicos, originada da mecânica relativista e quântica.

Para ele uma das questões distorcidas atribuídas aos modelos constituídos de subpartículas é a representação imagética deles, visto que a percepção contínua da matéria não se rompe apenas com a aceitação do vazio, ou melhor, a existência de átomos, mas a desproporção, em termos de massa e extensão, da figura dada as subpartículas.

Nesse sentido, o autor argumentou que a característica atribuída as subpartículas do átomo, tais como “pequenas esferas duras”, trazem um misto de visão quântica com aspectos clássicos da matéria. Visto que na primeira década do século XX, no início da teoria quântica ainda persistiam explicações fenomenológicas ligadas a estrutura corpuscular do átomo (CRISAFULLI, 2011).

Assim, a mudança da visão contínua, corpuscularista e fenomenológica da matéria se deu quando De Broglie assumiu a visão dualística para ela, a partir do entendimento de como os elétrons ocupavam diferentes níveis de energia dentro do átomo, sendo atribuídos a eles inteiros fixos em cada órbita que ocupam, propriedade que está ligada ao comportamento ondulatório de vibração e interferência. Passando a serem associadas a ondas de matéria como destacou Einstein na explicação do fenômeno do efeito fotoelétrico, admitindo a dualidade onda-partícula para a luz anteriormente.

Contudo, segundo Meneses (2008), a visão dualística foi apenas a base inicial para a reformulação de um modelo teórico que abarcasse o comportamento dos sistemas físicos subatômicos e apagasse de vez a visão clássica na explicação de eventos quânticos, pois, em seguida, Einstein começou a intentar o aspecto probabilístico no comportamento quântico do átomo e Heisenberg na determinação da estrutura dele.

Este último juntamente com Max Born e Pascal Jordan propõe um modelo matricial para a mecânica quântica base para a explicação dos fenômenos quânticos. Associando os estados do átomo, momento e posição, a resultados de operações algébricas matriciais por uma equação que inclui a constante de Planck.

Aspecto esse que assinalou o princípio da Incerteza ou a visão indeterminista da matéria, deduzido a partir da impossibilidade empírica de se medir esses dois pares de entidades quânticas, a posição e o momento, ao mesmo tempo.

Para Medeiros (2008) a busca incansável da ciência e filosofia unificar a visão relativística e a quântica, encontra um forte compromisso ontológico baseado nas ideias de Heisenberg como uma unidade ontológica do real, chamada de visão monista do universo, de que tudo é um.

Além disso, a consideração de elétrons como ondas por Schrödinger, através da nova mecânica ondulatória, fizeram suplantar as concepções cotidianas da física clássica nas situações quânticas.

As soluções da função de onda ( $\Psi$ ), provenientes do formalismo matemática de uma equação de onda, que relacionava as ondas reais a partícula quântica pela aplicação do operador hamiltoniano, apresentaram resultados tão abstratos quanto as variáveis matriciais de Heisenberg e seus companheiros, os quais criaram uma representação para as vibrações das partículas em um espaço matemático imaginário, denominado de espaço de fases (CRISAFULLI, 2011).

Além disso, Max Born dando continuidade as ideias probabilísticas de seu amigo Einstein, influenciado pela mecânica matricial e ondulatória, pôs fim ao determinismo da física clássica, propondo uma interpretação qualitativa para as partículas quânticas, atrelada a solução da função de onda de Schrödinger, através do quadrado dessa função -  $(\Psi)^2$ .

Essa expressão indica a probabilidade de encontrar o corpúsculo em algum lugar do espaço, por uma medição em um experimento, como também associar a intensidade da onda, momento, energia, entre outras entidades físicas observáveis (MENESES, 2008).

Sendo assim, Max Born, defende “que a casualidade presente na base da cognoscibilidade científica. Sem a possibilidade de estabelecer uma

conexão necessária, entre fenômenos, não há ciência. Assim, falar de ciência implica falar de relações causais inter fenomênicas” (MENESES, 2008, p. 211).

Para esse autor, o chamado “salto quântico”, ou seja, a dualidade onda-partícula da matéria, representa “um verdadeiro vazio relativo” (*Ibidem*, p. 212). Uma vez que os sistemas quânticos dificilmente poderão ser descritos por entidades imagéticas de nossa intuição através da linguagem, seja *a priori* ou *a posteriori*.

Dessa forma, a probabilidade estatística resultante da integral aplicada a função de onda ao quadrado, “não pode explicar-se como um conhecimento imperfeito, mas também não completamente perfeito, mas antes um conhecimento *in fieri*” (MENESES, 2008, p. 212).

Para a autoria a mecânica quântica de Werner Heisenberg é a última etapa do programa atômico reducionista, pois retira em sua totalidade dos resquícios das qualidades sensíveis que torna a estrutura da matéria concreta, ao reduzi-lo a uma mera função matemática. Embora permaneçam os elementos espaciais.

Nesse entorno, entende-se que as entidades físicas quânticas não são uma mera criação numérica, mas de fato possuidora de certo nível de realidade física, dentro de um tempo medido pela mecânica quântica, propagadas em um espaço dado pela resolução da equação de Schroedinger. Assim, pode-se destacar algumas categorias para a zona quântica do átomo, a visão não usual, indeterminada e estatística.

No bojo dessa discussão, encontra-se forte compromisso axiológico, como pontua Almeida (2019), sobre o realismo científico de Putnam, ao discorrer que o realismo interno é a realidade descrita pelo indivíduo, em uma relação mútua da pessoa ou comunidade que descreve a realidade da forma que a compreende.

### 1.3.5 - O atomismo na visão de estudantes

Ao debruçar sobre os estudos voltados as concepções informais encontro em França, Marcondes e Carmo (2009) trouxeram características atribuídas a estrutura atômica relacionadas as interações eletrostáticas entre os prótons do núcleo e os diferentes níveis energéticos dos elétrons, como as

partículas estarem “mais ou menos atraídas entre si”, podendo ocorrer a saída ou a entrada de partículas (elétrons) nessa estrutura, constituindo o íon; o caráter descontínuo da matéria e suas entidades constituintes; o modelo atômico baseado na ideia de orbital e as órbitas sendo entidades independentes, nas quais os elétrons estariam girando ao seu redor, como corpúsculos em movimento, enquanto que o núcleo estaria em repouso; quanto às partículas atômicas, consideram não ser possível separar os elétrons do átomo; e a neutralidade do átomo é vista pelo fato deste ser carregado positiva e negativamente, também atrelada a regra do octeto.

Nesse mesmo estudo encontramos uma concepção da estrutura do átomo semelhante à de uma célula, a não diferenciação entre átomo, íon e molécula. Tornando suas explicações semelhantes, como se fossem entes como as mesmas compreensões.

Gomes e Oliveira (2007) investigando 291 alunos da oitava série (135) e do primeiro ano (156), por meio de um questionário, indicaram que grande parte dos estudantes de ambas séries apresentam a ideia de existência e localização dos elétrons como esperado pelos autores no conjunto das três concepções seguintes: 92% e 94%, “a eletrosfera é a região do átomo onde se encontram os elétrons, 6% e 21%, estes sendo o menor percentual de acerto em ambas, “é possível que dentro de uma mesma camada os elétrons ‘rodem’ um para cada lado”, 30% e 38%, “a eletrosfera é composta de camadas energéticas, ou seja, elas não existem fisicamente”, nessa ordem.

Contudo, analisando a associação dessas ideias, Gomes e Oliveira (2007) não ter encontrado na 8ª série e em 3% de acerto no 1º ano. Isso torna evidente que eles atingem a noção de eletrosfera, mas não a dinâmica eletrônica, como descrito a seguir, respectivamente, os percentuais da oitava série e primeiro ano: “é impossível que os elétrons ‘rodem’ uma para cada lado, pois eles acabariam se chocando”, 49% e 33%; e “as camadas da eletrosfera existem e funcionam de maneira semelhante a um trilho de trem, por onde os elétrons circulam”, 36% e 32%. Além disso, emergiu noções contraditórias, 1% na 8ª série e 2% no 1º ano, a saber: “é possível que dentro de uma mesma camada os elétrons ‘rodem’ um para cada lado” e “é impossível que os elétrons ‘rodem’ uma para cada lado, pois eles acabariam se chocando”.

Quando os autores apontaram para entendimentos que trazem analogias, atribuem ser de mesma natureza essa dificuldade para ambas as turmas. A primeira foi “cada camada da eletrosfera suporta uma quantidade máxima de elétrons, mas nunca pode ficar vazia”, 40% e 35%, “cada camada da eletrosfera funciona como uma gaveta, ou seja, a hora em que uma delas fica cheia, ela se fecha e abre-se outra gaveta”, 55% e 38%, respectivamente, 8ª série e 1º ano.

Com a segunda pergunta, pediram o desenho do átomo, como se estivessem vendo por um equipamento próprio, e se pudessem manipular com pinças sensíveis de maneira separariam. Gomes e Oliveira (2007), compararam as semelhanças das imagens com os modelos que caracterizam da literatura, a saber:

animista (Galiazzi *et al*, 1997), que coloca características das células dos seres vivos à matéria; MODELO DE DALTON, referente ao átomo como “bola de bilhar”, que seria a menor parte da matéria, sendo portanto, indivisível e indestrutível; MODELO DE THOMSON, que seria o modelo “pudim de passas” e o MODELO DE RUTHERFORD, com a divisão em um núcleo com prótons e nêutrons e uma eletrosfera com elétrons. O modelo de átomo Rutherford-Böhr, que mostraria os níveis de energia das camadas, e o modelo de atômico de Sommerfeld, no qual a eletrosfera seria composta de órbitas elípticas, com um aspecto de tridimensionalidade, foram contabilizados juntamente com o modelo de Rutherford. Alguns modelos, por não poderem ser classificados como nenhum dos expostos acima, foram classificados como OUTROS; isso se deu pelo fato de se apresentarem em um estado “intermediário”, isto é, de mais de um modelo, o que dificulta o seu enquadramento (GOMES; OLIVEIRA, 2007, p. 102).

A análise dessa comparação se deu a partir de um gráfico o qual expressava as respostas dos alunos, sendo 9 deles enquadrados no modelo animista do 1º ano, para os autores isso se deve a vivência de aprendizado recente do estudo da célula e ela assim como o átomo apresentar núcleo e aquela ser a menor parte do organismo vivo. O que ficou mais claro quando um dos alunos descreverem a separação da membrana do núcleo, denotando o equívoco conceitual.

Quanto ao de Dalton escreveram ser a menor partícula da matéria, com uma estrutura compacta, maciça e sólida, o que torna indivisível e indestrutível. No entanto, para Gomes e Oliveira (2007) os estudantes do 1º ano apresentaram essas ideias, provavelmente, por terem estudado por uma

apostila da série anterior que descrevia o modelo da “bola de bilhar”, mas no livro didático não apresentavam essas informações, por iniciarem falando da natureza elétrica da matéria, indo para as noções de Demócrito a Rutherford, sem passar por Dalton, justificaria a falta de respostas.

Inversamente ocorreu com o modelo de Thomson, pois a apostila apresentava e o livro não, embora focasse no aspecto elétrico dos materiais, com o seguinte entendimento: “átomo seria uma esfera com carga positiva, onde estariam imersas as partículas negativas (elétrons)” (GOMES; OLIVEIRA, 2007, p. 104).

O modelo de Rutherford foi identificado junto ao de Rutherford-Böhr, como também é comumente trabalhado com o de Sommerfeld, cujo modelo não se apresenta em nenhum material didático usado no estudo. Além disso, os resultados apontaram que aquele modelo foi majoritariamente descrito, uma vez que os autores consideram ser esperado que seja atualmente mais considerado e explicativo da estrutura da matéria no nível de ensino dos estudantes.

Contudo, Gomes e Oliveira (2007), ainda ratificaram que a noção de localização da eletrosfera torna-se um entrave epistêmico devido os alunos representarem funcionalmente como algo físico ou tangível. Uma vez que eles não têm conhecimentos acerca de modelos quânticos.

Ao olhar para as respostas dadas a separação da estrutura, apresentou-se falta de clareza quanto aos constituintes e função deles, apresentando erros conceituais como indicarem número atômico e de massa enquanto estrutura atômica e não apenas conceitos. Sendo em ambas as séries a maioria dos sujeitos respondendo núcleo, prótons, nêutrons, eletrosfera e elétrons.

Quando perguntados da relação de dois experimentos apresentados no livro didático, o da verificação da eletricidade estática presente em pedaços pequenos de papel atraídos por uma régua atritada por uma flanela, e o calor resultante da mistura do gesso em pó na água; e, outros dois da apostila, a direção de feixe de elétrons presentes nas telas de televisão e o aquecimento de metais diferentes quando aproximados do fogo, alterando a cor da chama. A maioria dos alunos, 26 da 8ª série e 71 do 1º ano, não conseguiu estabelecer alguma relação da existência atômica com os fenômenos. Mas, 6 e 2, nessa ordem, aproximaram das reações químicas e explosões de bombas atômicas.

Enquanto outros trouxeram atributos, nessa mesma ordem de escolaridade, tais como experiência e estudos, 41 e 28, tecnologia atual, 9 e 6, por observar átomos no microscópio e telescópio, composição das coisas, 5 e 8, e apenas uma teoria, 4 e 17. E, para aqueles que apontaram como menor parte da matéria, 2 e 8, a maioria foi associada ao modelo de Dalton e uma parcela bem pequena o de Rutherford-Böhr.

Além disso, uma outra grande parte, 37 e 18, aproximaram de ideias que nada comparara a um modelo atômico proposto, a saber: registro arqueológico pré-histórico escrito e pictórico, fossilizados por erupções vulcânicas ou que “a professora disse”.

É possível constatar nesse estudo que não se torna um bom instrumento de investigação a solicitação de representações visuais, como se tivessem um microscópio e pudessem manipular o átomo, visto que é consenso, de acordo com o exposto histórico acima que ele não se enquadra dentro de uma visão empírica, mas somente racional, muito embora existam proposições de modelos que buscaram analogias imagéticas dada a influência mecânico-corpularista para a compreensão das modelagens atômicas.

Isso representa, em meu ver, uma dificuldade para se alcançar a racionalidade discursiva, abstrata e de linguagem não-intuitiva, ou seja, matemática para o átomo atual.

Santana, Sarmiento e Wartha (2011) investigaram as ideias de 115 estudantes das três séries do ensino médio, entre 14 e 15 anos, dos modelos atômicos e a estrutura celular, por meio de um questionário com cinco questões elaborados por Fuente *et al.* (2003), envolvendo os critérios célula, átomo, molécula, núcleo, outros, não responderam.

Ao constatarem que a maioria respondem ser o átomo a constituição de objetos inanimados, embora apresentaram molécula, o que foi aceitável já que não especificava contexto de uso.

Ainda questionados sobre a constituição para os seres vivos, foi frequente a atribuição à célula. E ao serem solicitados expressar em um diagrama a inclusão desses critérios para uma gota de água, nenhuma do primeiro e poucos das outras séries apresentaram o considerado correto pelos pesquisadores.

Embora a maioria iniciou corretamente colocando a molécula na gota de água e o átomo naquela, os estudantes não continuam por não terem uma relação clara dos sistemas de conhecimentos definidos nessa pesquisa para falar sobre a estrutura da matéria.

Outro aspecto importante destacado, foi a construção do diagrama de inclusão para o cachorro. Iniciado com critérios corretos, a saber: cachorro-coração-célula. Porém, fica evidente a dificuldade de os estudantes relacionarem os entes inanimados daqueles animados pertencentes as mesmas leis da natureza, pois a existência destes podem ser visualizadas por instrumentos de microscopia e aqueles não.

Por fim, foi solicitado a produção de uma imagem para o átomo e a nomeação de suas partes. A análise se deu através das categorias elencados em França *et al.* (2009), sendo elas: identificação por escrito do núcleo e/ou eletrosfera; representação de duas ou mais partes do átomo, sem a identificação por escrito; identificação de partículas subatômicas.

Próximo de metade dos estudantes se aproximam da primeira categoria, da quinta parte deles se assemelha a segunda e em média pouco mais da metade na terceira. Nessa última trouxeram aspectos escritos e simbólicos de cargas (+) e (-); e partículas (p), (e) e (n). Também evidenciou próximo de 20% representações de átomo como célula com partes descritas por nomeação: núcleo, parede celular e citoplasma.

Santana, Sarmiento e Wartha (2011) procuraram também trazer subsídios dessas relações imagéticas com os modelos atômicos de Dalton, Thomson e Rutherford apresentados em livros didáticos. Sendo considerados naquele a categoria esférica desprovida de partículas, sem presença de pontinhos ou sinais; nesse atribui-se a esfera uniforme constituída de cargas e partículas de prótons e elétrons; e neste com núcleo, eletrosfera uniforme e partículas. Com resultados, nessa ordem, próximos da décima e quinta parte, e três quintos da amostra.

Esse estudo propiciou perceber a relação do aprendizado dos estudantes ainda vinculada à escola e aos livros didáticos sobre a estrutura da matéria e atômica. Sem relação com situações prévias experienciadas por eles. Nesse sentido, acredito que igual aos pesquisadores somente por meio de estratégias didáticas as quais aproxime o aprendiz das ideias científicas e de

seus modelos explicativos com suas próprias ferramentas a fim de problematizar a realidade e promover a (re) construção de modelos explicativos.

“Construir modelos explicativos é uma atividade intelectual e afirmamos que um estudante somente aprende ciências quando está em atividade intelectual e não memorizando esquemas e modelos apresentados em sala de aula” (SANTANA; SARMENTO; WARTHA, 2011, p. 121).

Sunyono e Sudjarwo (2018) estudaram modelos mentais de concepções da estrutura atômica de estudantes de três escolas do curso de química de nível comparado ao nosso ensino médio. Foram realizadas teste do modelo da estrutura atômica e entrevistas que indicaram a maioria dos sujeitos entendem a química macroscopicamente ou com uma modelagem simples, implicando na dificuldade de relacionar os fenômenos aos modelos científicos que explicam.

Questionados se o processo de mudança era físico ou químico nas representações apresentadas, mais de 67,5% apontaram ser físico e 5,62% químico. Isso indicou para os autores baixo entendimento imagético da estrutura de átomos e moléculas, pois deveria ter sido ao contrário o modelo que explica os processos por meio do movimento, agrupamento e rompimento de moléculas, em que cada átomo era uma bolinha de uma cor diferente.

Não obstante, eles afirmaram que os alunos vinculados à cursos de formações industriais tem uma maior compreensão sobre essas relações de fenômenos e modelo explicativo, bem como aqueles localizados em escolas urbanas comparada as rurais.

Um dado importante desse estudo é a dificuldade dos estudantes em compreender essas mudanças nos diagramas representadas em nível sub microscópico, a saber: diferenciar estruturas de átomos e moléculas, reorganização das mudanças moleculares quando se tornam átomo, a de compostos em elementos e a de que mudanças nas substâncias, não mudam as estruturas delas.

Outro aspecto sobre isso, constata-se que estudantes do ano final do ensino médio apresentam domínio em nível macroscópico sobre essas mudanças físicas e químicas e, ao mesmo tempo, entraves quando eram pedidos para transformar a representação verbal para a imagética do modelo nuclear do átomo.

Para os alunos investigados e citados anteriormente, consoante Sunyono e Sudjarwo (2018), isso era devido a eles não terem vivido atividades sobre o átomo com imagens, ficou centrada apenas na verbalização, faltando uma imaginação criativa.

Com o segundo teste, revelou-se que a maioria desses sujeitos não entendem átomos como modelos. Uma vez que os conhecimentos acumulados da química passados pelos professores não são possíveis articularem explicações de transformações macroscópicas, como as experimentais fenomenológicas de Thomson, Goldstein, Chadwick e Rutherford, em sub microscópica e fenomenológica simbólica.

Nas entrevistas realizadas, foi identificado pouca experiência dos estudantes em interpretar o modelo orbital do elétron, segundo Bohr, somente pela oralidade, precisavam recorrer a representação visual, porém sem uma imagem devida.

Aqueles da escola A e B mostraram maior dificuldade em explicar, descrever e interpretar visualmente as representações da estrutura dos modelos atômicos de Thomson e Rutherford. Enquanto os da escola C apresentaram mais facilidade em explicar e interpretar essas imagens. Aqui fica claro que explicar imagetivamente os fenômenos eletrônicos é mais difícil que verbalmente.

Já no teste 3 mais de 70% dos sujeitos apresentaram não conseguir representar fenômenos verbalizados em visuais a partir da estrutura do átomo de Bohr. Quando pedido para desenhar o modelo atômico de sódio e flúor, aqueles da escola B fazer melhor esses modelos que os da C, embora indiquem erros na camada dos elétrons no átomo.

Ademais, visualizações imagéticas avançadas foram observadas dos orbitais eletrônicos s e p, só não se relacionavam ao modelo de Bohr, mas o de ondas mecânicas. Isso é evidente, como apontam Sunyono e Sudjarwo (2018), devido os alunos não terem sido ensinados em detalhes sobre as diferenças da posição e comportamento dos elétrons entre o modelo de Bohr e o de ondas mecânicas.

Melo e Lima Neto (2013) objetivaram identificar as dificuldades dos modelos atômicos em aulas de química de uma turma do ensino médio, a qual vivenciou debate de textos e experimentos sobre o desenvolvimento histórico

deles. Ao analisar o uso da teoria atômica para explicar fenômenos do cotidiano, evidenciou-se limitações na mediação das estratégias de ensino.

Quando se realizou o levantamento das concepções prévias dos estudantes da educação básica, questionou-se o que se entende por átomo e partículas; que produz cor nos fogos de artifícios, há alguma relação dessa cor com os átomos que compõe a matéria deles e de que são feitos.

Os resultados apresentados do que seria o átomo foram: massa em forma de bolinhas (27%), pequena partícula de um indivíduo (15%), bolinhas de massa muito pequena (35%), menor partícula da matéria (23%). Com isso, constatou-se que a maioria deles veem como bolinhas e outra parte com o termo partícula.

O que ficou claro para os autores que mesmo sendo expostos as ideias historicamente construídas sobre a modelagem da teoria atômica moderna, os sujeitos aproximaram do modelo de Dalton. Além de não reconhecer ser uma construção da ciência, ao considerar uma unidade sólida, real e palpável. E quando se buscou compreender o que seria partícula, continuaram a dizer a usar o termo bolinha.

Esses dados permitem apontar que o realismo ingênuo e a visão mecanicista e corpularista ainda se fazem presente no entendimento dos estudantes acerca do átomo, pois se esperava que considerassem uma entidade criada pela ciência, abstrata e não tocável.

A visão deles quanto à produção de cor nos fogos de artifícios foram: (28%) quisuques (suco de frutas em pó colorido); (53%) corantes; (9%) substâncias quaisquer; (10%) pólvora colorida. Diante disso, é perceptível que eles associaram, quase totalmente, a coloração à existência de corantes, como sendo a cor emitida das substâncias que compõe os fogos de artifícios, sem indicar o uso de modelos científicos.

Isso, segundo Mortimer (2000), é devido à dificuldade de superar a visão substancialista para explicar uma situação fenomenológica sem usar conhecimentos construídos na cultura escolar. Apesar dos investigados terem tido exposição ao conteúdo de modelos atômicos.

Para a composição do material combustível do fenômeno questionado, responderam: (30%) pólvora, bambu, cordão, quisuque e palito de fósforo;

(50%) corante, pólvora, cordão e areia; (20%) pólvora, corante ou pólvora colorida, areia, papel crepom e palito de fósforo.

Disso ficou evidente mais uma vez a visão macroscópica do material, sem associar aos modelos atômicos já apresentados na sala de aula. Assim, o observável continua presente na percepção dos alunos sobre o fenômeno, negando o átomo e a abstração necessária para responder o que se pergunta.

Melo e Lima Neto (2013) descreveram que foi ainda usado uma mediação por meio de leitura de um texto e discussão de sua compreensão parágrafo a parágrafo dos termos que os estudantes usaram para explicar o fenômeno da cor dos fogos de artifícios.

Ao serem arguidos com a mesma questão sobre o que produz as cores nos fogos de artifícios e a relação delas com os átomos que constituem os materiais, respondeu-se: (30%) incandescência e luminescência causadas por uma substância; (45%) alguma substância presente nele dá origem a incandescência e luminescência; (25%) sem energia os fogos não iam produzir cor, pois tem algum composto que a produz.

Nesse sentido, fica claro que houve apropriação dos termos científicos da leitura e debate do texto nas explicações do fenômeno, em sua grande maioria. Porém, mais uma vez apontada para a entidade substância ou composto, sem nenhuma relação aos átomos e a excitação eletrônica que apresentava o texto, explicitando o modelo de Böhr. Permeando ainda uma visão substancializada, macroscópica e que nega as entidades da estrutura atômica.

Por fim, os autores indicaram que a mediação da leitura pode ter sido um dos fatores que não possibilitou os estudantes construir e expressarem ideias ligadas aos modelos atômicos.

Matos e Kiouranis (2015) investigando também as concepções atomísticas de estudantes do 1º ano do ensino médio sobre o fenômeno dos fogos de artifício para identificar os obstáculos epistemológicos.

Por meio de um questionário, inferiu-se pelas respostas dadas três obstáculos quando se fala da composição e das cores emitidas pela queima dos fogos de artifício, a saber: a experiência primeira, generalização e animista.

Os autores indicaram que os participantes entendiam que a cor emitida pelos fogos era decorrente da pólvora que os compunha, como o uso de sais

minerais, enquanto outros se referiam a cor por causa de corantes, tintas ou pigmentações que se adicionava aos fogos.

Diante disso, é possível ratificar a experiência primeira como a ideia oriunda da construção histórico-cultural do indivíduo, a qual está imbricada no contexto de uso e experiências vivenciadas, algo antes da racionalidade crítica, ou melhor dizendo, pensamento informal/senso comum.

A constatação da generalização se deu pelas informações generalizadas oriundas de vivências mal realizadas ou pelo ato da observação sensível do mundo físico.

Quando Matos e Kiouranis (2015) solicitou aos alunos desenharem a relação das cores dos fogos de artifício com o átomo, o animismo foi evidente por terem dado vida ao átomo.

Aqui fica claro a dificuldade de estudantes fazerem uso de um modelo teórico científico, como o átomo, com a ocorrência de fatos do cotidiano, como a queima dos fogos de artifício.

O estudo de Körhasan e Wang (2016) visou objetivar os modelos mentais de espectros atômicos de estudantes do segundo ano de física e que já tiveram vivenciados conhecimentos básicos da química e de sua prática laboratorial.

Os resultados das entrevistas apontaram para quatro modelagens diferentes sobre esse conceito, o modelo científico do espectro atômico (MCEA), o modelo científico primitivo do espectro atômico (MCPEA), o modelo sem fóton (MSF) e o modelo orbital (MO).

Para os autores, dois aspectos são preponderantes para modificar o modo de pensar os espectros atômicos, em uma visão científica, a transição eletrônica e a energia dos fótons.

Dessa forma, identificou-se que o MCEA é explicado pela ligação do elétron (um elétron no átomo), os níveis discretos de energia (os níveis de energia de um elétron no átomo), as linhas espectrais (as linhas coloridas em um espectro de emissão ou escuras em um de absorção), a energia de um fóton (a energia de um fóton com um determinado comprimento de onda) e a transição eletrônica (a mudança de um elétron em um dado estado quântico para outro no átomo).

O MCPEA se compreende por três aspetos anteriormente citados, a energia do fóton, as linhas espectrais e os níveis de energia discreta; o MSF, é entendido pelos dois últimos apresentados, divergindo pela ligação do elétron; o MO é considerado não científico e semelhante a esse último modelo descrito, diferenciando somente por tratarem o orbital como local onde os elétrons ficam nos átomos ligados eletronicamente. Embora fale das linhas espectrais, não dimensiona a energia do fóton para explicar.

### *1.3.6 – A história do fogo artificial e o atomismo*

Há controvérsias sobre a origem dos fogos de artifício, no que tange a uma data específica, segundo Freitas (2012), mas, sabe-se que é necessário o fogo como fonte de ignição e a pólvora como principal combustível em vários séculos.

Acredita-se que o fogo artificial foi produzido primeiramente por volta do século VIII d.C., os alquimistas chineses em busca do elixir da vida longa, ao misturar óleos, mel e cera de abelha, o salitre e o enxofre (RUSSEL, 2009).

“A mistura entre os compostos orgânicos contidos no mel com o salitre (nitrato de potássio) e o enxofre era especial, pois quando aquecido gerou uma explosão semelhante a uma parede de fogo” (FREITAS, 2012, p. 10). Somente com a inclusão do carvão vegetal e o enxofre formaram a pólvora como a conhecemos, dita verdadeira (RUSSEL, 2009).

Vasconcelos, Silva e Almeida (2010) trouxeram elementos para entender que a Ásia foi o centro de formação da pólvora e responsável pela sua difusão aos povos árabes, alquimistas, para fins de defesa de guerra entre as conquistas por territórios, sendo produzidas de bambu.

Os autores apontaram que daí ocorreu a universalização, no sentido eurocêntrico do discurso da colonialidade/modernidade cultural de apropriação da prática social.

Bacon foi o primeiro a trabalhar os conhecimentos de produção da pólvora na Europa, ao introduzir o pó de milho, ele percebeu que aumenta a proporção, apresenta a luz dos grãos na passagem do fogo e promove uma maior expansão do gás após sua queima (VASCONCELOS; SILVA; ALMEIDA, 2010).

Russel (2009) discorreu que esses grãos ou grânulos apresentava massas distintas para cada tipo de arma. Bacon embora não tenha inventado a palavra pólvora, afirmou para a intensidade do som produzido com a explosão semelhante a um trovão e as luzes excediam a de um relâmpago.

O uso dos fogos de artifício para a finalidade pirotécnica, emergiu no fim do século XIV, na Itália, na cidade de Florença, ligados à atos políticos e religiosos, em situações de paz e prazer festivo.

Contudo, somente na Inglaterra que eles tomaram um sentido maior para esses momentos vividos na cultura (MACHADO; PINTO, 2011). Ampliando as funcionalidades do material para as atividades humanas.

A seguir apresentamos algumas visões de personagens da ciência sobre os fogos de artifícios:

Já na metade do século XVIII, Benjamin Robin e outros mencionam “A celebração da paz final de 1749”, em Londres, com uma exposição de fogos de artifício (JOHNSON, 1994). É percebida neste século também, a influência que estes fogos causavam no pensamento filosófico e científico da época. Robert Boyle acreditava que o universo mecânico era como um grande fogo de artifício; Leibniz tinha os fogos de artifício como modelo para a sua “harmonia pré-estabelecida; Jhon Theophilus Desaguliers fez experimentos com fogos de artifício para entender as explosões subaquáticas; na Rússia, no ano de 1725, foi fundada a Academia Russa para trazer ciência ao império russo e conseqüentemente, o estudo e projeções de fogos de artifício estavam entre esse processo científico; Antoine Lavoisier deu conselhos no desenvolvimento de fogos de artifício com o recém descoberto (década de 1780) “gás inflamável” (atualmente, o gás hidrogênio) (WERRETT, 2008) (FREITAS, 2012, p. 14 e 15).

É possível perceber a influência do mecanicismo corpularista nas explicações dadas por esses químicos para falar sobre o fenômeno.

No início do século XIX, Congreve criou mais uma utilidade dos fogos de artifícios, na emissão de seus foguetes com alto poder de explosão (RUSSEL, 2009).

Desde, então, houve um investimento militar para defesa em guerras na Europa. Além de outras funcionalidades em guerra como caça de baleias, salva-vidas e armaduras para navios de guerra (JOHNSON, 1994).

Tudo isso levou a compreensão da pirotecnia a partir de conhecimentos de Física e Química, não somente por saberes da arquitetura e arte (WERRETT, 2008).

A periculosidade desses explosivos depende do tipo e a classificação deles, pois sua composição química muda, ainda que a base seja a pólvora, como por exemplo, os foguetes, os morteiros, os estalos de salão e as fontes.

Freitas (2012) argumentou sobre que ideia da ciência da natureza explicar o funcionamento dos fogos de artifícios, os sons e as cores produzidas: “antes de pensarmos propriamente na explicação de como se dão as cores, devemos entender, primeiramente, como foi o caminho até se chegar a essa explicação e as características e funcionalidades do ator principal desse show: o átomo” (FREITAS, 2012, p. 29).

O autor ainda ratifica que a explicação funcional em escala atômica das cores dos fogos de artifício se dá pelo entendimento dos espectros de emissão da luz enquanto onda eletromagnética, na perspectiva da mecânica quântica.

Com todo esse escopo teórico, apresenta-se no capítulo seguinte o percurso metodológico dessa pesquisa de dissertação.

## CAPÍTULO II

### METODOLOGIA

O mais alto grau de pensar em ciência envolve uma ação criativa totalmente dependente da imaginação humana (BRONOWISKI, 1978, citado por STINNER, 2007 – **tradução nossa**)<sup>16</sup>

A vivência dessa pesquisa foi realizada com a participação direta do pesquisador em todo o processo. De acordo com Oliveira (2012), isso visa construí-lo através da reflexão e análise, usando os métodos e técnicas necessárias para a compreensão pormenorizada do objeto de estudo, o conceito átomo, em seus processos de construção histórica e visões estudantis, relacionado a um problema de amplo contexto experienciado no processo de ensino e aprendizagem, caracterizando-se esse estudo em uma abordagem qualitativa de pesquisa quanto a sua natureza.

De método descritivo, tendo em vista a análise dos dados interpretativa ter tipo a descrição como procedimento para a compreensão de fenômenos, experimentos, teorias e suas interrelações com a história de elaboração do conceito átomo, pautado em uma nova historiografia da ciência, na literatura de educação em ciências/química e outras; e de um estudo de caso histórico, atrelado ao contexto atual da queima dos fogos de artifício em diálogo com o seu processo de produção histórica, ao buscar relacionar o desenvolvimento científico, tecnológico e sociocultural da humanidade com o desenvolvimento do conceito em estudo principalmente no que tange à transição da visão clássica para a quântica.

A integração da aprendizagem em ciências a partir da construção e aplicação das diversas vozes e pensamentos sobre um dado conceito científico para a construção da linguagem da ciência escolar, dentro de uma perspectiva sócio interacionista, permitiu aproximar o programa de pesquisa dos perfis

---

<sup>16</sup>STINNER, A. *Toward a Humanistic Science Education: Using Stories, Drama, and the Theater*. **Canadian Theater Review**, 2007, p. 14-19. (This was an invited article for a special edition of the journal). Disponível em: <<http://www.arthurstinner.com/stinner/pdfs/2007-ctr.pdf>>. Acesso em: 10 jan. 2015.

conceituais, proposta por Mortimer *et al.* (2014), com o de Stinner *et al.* (2003) sobre o estudo de caso histórico.

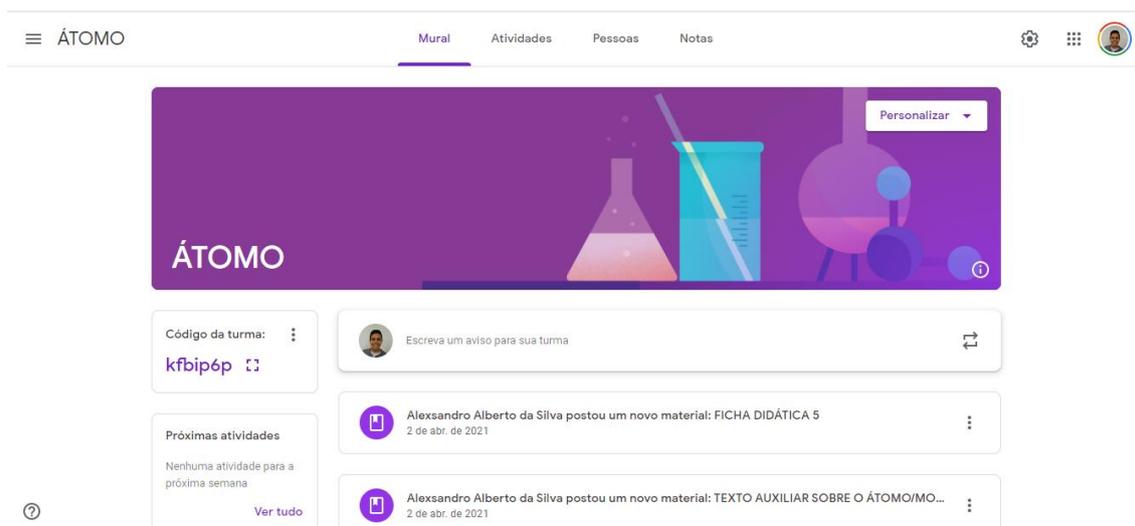
Com a epígrafe deste capítulo, é possível entender que a contextualização histórica aliada a um contexto atual, parafraseando a citação de Bronowiski, permite o aluno atingir o mais alto grau de pensar em ciência, a racionalidade científica ou a realidade quântica, pois envolve uma ação criativa totalmente dependente da imaginação humana e do intelecto coletivo construído na cultura científica. Tornando-se pertencente dessa cultura e construtor dessas ideias.

Assim, planejou-se e direcionou o desenho desse estudo para o cumprimento de cada objetivo, na medida em que pretendeu-se buscar respostas para a questão investigativa, apresentadas nos tópicos seguintes: contexto e sujeitos da pesquisa; etapas da pesquisa; instrumentos de coleta de dados; análise de dados.

## 2.1 - Contexto e sujeitos da pesquisa

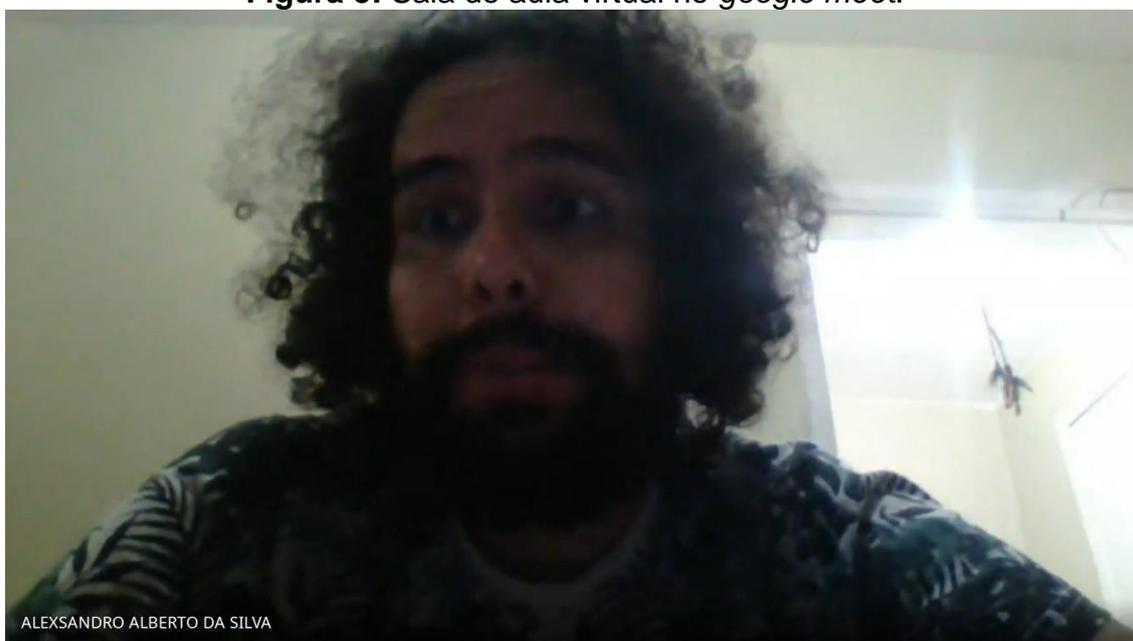
A pesquisa foi realizada entre o final do ano de 2020 e no ano 2021 em ambientes virtuais, síncrono e assíncrono, na presença e ausência do pesquisador, respectivamente, oriundos dos aplicativos *google classroom* (<https://classroom.google.com/c/MjM3MTQ5NTY1NTA4>) e *google meet*, figuras 2 e 3, nessa ordem, em virtude do cenário atual de crise sanitária da pandemia de Covid-19. Naquele denominou-se a sala de aula de “ÁTOMO”, cujo objetivo visa manter a socialização de orientações e materiais de estudo organizados nos seguintes elementos: mural (informações gerais completas) e atividades (produção do diário de pesquisa histórica científica – DHPC, fichas didáticas e fontes de pesquisas).

**Figura 2:** Sala de aula virtual no *google classroom*.



Fonte: autoria (2022).

**Figura 3:** Sala de aula virtual no *google meet*.



Fonte: autoria (2022).

Isso se deu devido no Brasil, em nosso caso, no estado de Pernambuco, no ano de 2020 e 2021, esteve em ascendência em número de casos confirmados<sup>1718</sup> e óbitos<sup>19</sup>, impossibilitando assim o contato presencial dos

<sup>17</sup>Mapa de casos confirmados por bairro de covid-19 em dados no ano de 2021. Disponível em: < <https://dados.seplag.pe.gov.br/apps/corona.html#mapas>> Acesso em: 15 jan. 2022.

<sup>18</sup>Mapa de casos confirmados por bairro de covid-19 em dados no ano de 2020. Disponível em: < <https://dados.seplag.pe.gov.br/apps/corona.html#mapas>> Acesso em: 15 mai. 2021.

participantes da aplicação desse estudo, conforme diversos decretos do executivo estadual<sup>20</sup> norteadores da vivência de práticas educativas presenciais ou não nas escolas também.

Diante disso, decidiu-se vivenciar esse estudo com 11 estudantes do 9º ano dos anos finais do ensino fundamental, e, do 1º e 2º anos do ensino médio, próximos ao pesquisador que pudessem ter acesso às plataformas com recursos tecnológicos digitais e internet, como também disponibilidade em realizar os encontros virtuais.

Além de termos tido relação e aproximação desenvolvida no contexto de minha prática profissional presencial da educação básica, em anos anteriores à aplicação da pesquisa, como 2018, 2019 e início de 2020 até o fechamento presencial das escolas públicas que trabalhei/o. Sendo elas, naqueles dois anos citados primeiramente, do tipo municipal de ensino regular de tempo integral rural, e, essa, do ano de início da pandemia de Covid-19, do tipo municipal de ensino regular matutino e vespertino urbana. Ambas compreendendo as séries do 6º ao 9º ano dos anos finais do ensino fundamental.

Para garantir o sigilo ético de pesquisa, os estudantes foram identificados com a letra maiúscula “E” seguida da numeração ordinal inteira para distingui-los.

## 2.2 - Etapas da pesquisa

Essa pesquisa foi executada sob dois focos indissociáveis, teórico-empírico, sendo eles: revisão de literatura sobre a teoria dos perfis conceituais, metodologias de estudo de caso histórico, e concepções históricas e estudantis do conceito átomo; proposição e aplicação de um estudo de caso histórico estruturado junto à perspectiva teórica dos perfis conceituais para o conceito em estudo e a queima dos fogos de artifício, como apresentado pelo programa de pesquisa de Stinner *et al.* (2003).

---

<sup>19</sup>Licença aberta para base de dados do covid-19 de 2020 até os dias atuais. Disponível em:< [https://dados.seplag.pe.gov.br/apps/corona\\_dados.html](https://dados.seplag.pe.gov.br/apps/corona_dados.html)> Acesso em: 30 jan. 2022.

<sup>20</sup>Legislação Estadual Covid-19. Disponível em: <[http://www.pge.pe.gov.br/PGEPE\\_LegislacaoEstadualCovid19.aspx](http://www.pge.pe.gov.br/PGEPE_LegislacaoEstadualCovid19.aspx)> Acesso em: 15 mai. 2021.

Para melhor compreender o caminho que trilhamos, separou-se esse estudo em três etapas de pesquisa, como descritas a seguir:

### *2.2.1 – Analisando concepções históricas e estudantis sobre o conceito de átomo*

Esta etapa compreende a revisão bibliográfica em banco de dados, tais como na lista de periódicos da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) de *Qualis* A, B e C dos anos 2013-2016; da Biblioteca Digital Brasileira de Teses e Dissertações; e em materiais didáticos e paradidáticos, de quaisquer anos, no caso dessas duas últimas, sobre o conceito átomo disponíveis e acessíveis ao pesquisador impressos e na web.

Para a busca na web de artigos, foi feito o cruzamento de palavras-chaves como átomo, modelos atômicos, teoria e mecânica quântica; procedeu-se a leitura dos resumos e textos completos daqueles textos em que se enquadravam nos seguintes critérios: serem produzidos em língua portuguesa, inglesa e espanhola posteriores ao ano 2000; versarem sobre o conceito em questão a partir do desenvolvimento histórico e visões de estudantes, inclusive também, envolvendo o fenômeno da queima dos fogos de artifício.

Ao proceder a análise interpretativa, buscou-se entender o movimento de sentidos e significados apresentados nos trabalhos que compõe todo esse conjunto de dados da literatura por meio da discussão crítica das zonas, propostas por Mortimer (2000), do perfil conceitual de átomo, dialogicamente construídas, levando em consideração os compromissos epistemológicos, ontológicos e axiológicos, cujas categorias emergem através dos modos de pensar e formas de falar o conceito, dividido em naturezas-culturas, aspecto nesse estudo incluso, e as dimensões delas em temas epistemológicos estruturantes para a proposição da primeira matriz semântica do PCA.

### *2.2.2 – Construção e aplicação de um estudo de caso histórico sobre o conceito de átomo e a queima dos fogos de artifício*

Essa etapa compreendeu a elaboração e aplicação de um estudo de caso histórico, com base nos pressupostos de Stinner *et al.* (2003), ligando ao

domínio microgenético do perfil conceitual de átomo (MORTIMER, 2000), a partir de estudos em fontes secundárias e terciárias acerca do desenvolvimento histórico desse conceito, relacionado ao domínio sociocultural, e as concepções estudantis, vinculado ao domínio ontogenético.

Para melhor delinear esse processo, apresenta-se abaixo o guia modelo para a construção de estudos de casos históricos, consoante as orientações de Stinner, McMillan, Metz, Jilek e Klassen (2003, p. 617), baseados em problemas de amplo contexto (PAC) ou *large context problems* (LCP, em língua inglesa), com enfoque histórico ou estudo de casos históricos:

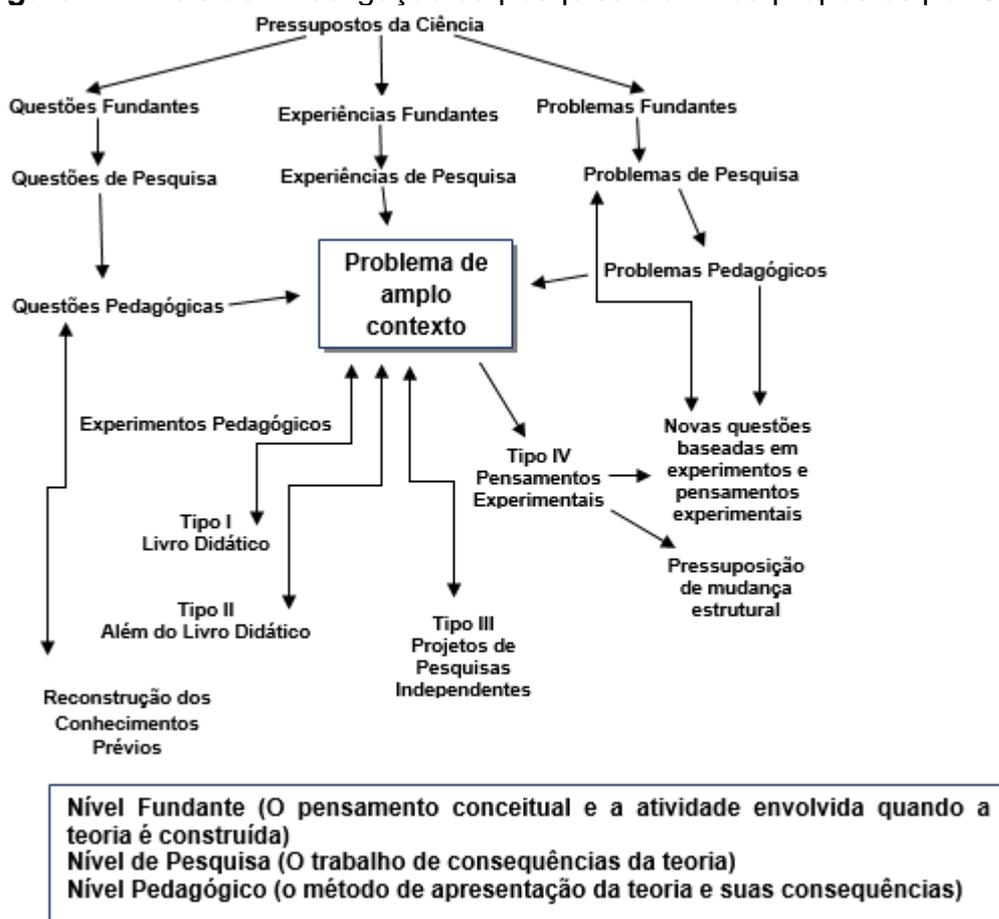
1. Mapear um contexto com uma ideia central unificadora que é considerada importante na ciência e suscetível de capturar a imaginação do estudante.
2. Fornecer ao estudante algumas experiências que podem ser relatadas por ele/ela do mundo cotidiano assim como as explanadas simples e eficazmente pela ciência dos cientistas, mas em um nível que faça sentido ao estudante.
3. Inventar um enredo (pode ser histórico) que dramatizará e realçará a ideia principal. Identificar um evento importante associado com a pessoa ou as pessoas e descobrir opostos binários, ou características ou eventos conflitantes (Egan, 1986) que podem ser apropriados para incluir na história.
4. Garantir que as ideias, os conceitos e os problemas maiores dos tópicos sejam gerados pelo contexto naturalmente.
5. Fixar o desenvolvimento da história da precisão à generalização (Whitehead, 1985). Isso é realizado melhor, mostrando ao estudante quais:
  - a) Situações problemas emergem do contexto e são intrinsecamente interessantes;
  - b) Conceitos são diversamente conectados, dentro do contexto da história, bem como com a atual ciência e tecnologia;
  - c) Existe o espaço de extensão e generalização das ideias, problemas e conclusões individuais.
6. Mapear e projetar o contexto, idealmente em cooperação com os estudantes, onde você como o professor assume o papel de líder da pesquisa e o estudante tornar-se parte de um programa de pesquisa em curso.
7. Resolver o conflito que foi gerado pelo contexto e descobrir as conexões entre as ideias e conceitos discutidos com as correspondentes de hoje (STINNER *et al.*, 2003, p. 617 – **tradução nossa**).

Acima, descreveu-se como fazer o design e a produção do problema de amplo contexto de um estudo de caso histórico. Sabe-se que a aplicação se dá pela formação de grupos de três alunos e o engajamento deles em seus três níveis estruturantes, sendo um para cada estudante, a saber: contexto

histórico; as ideias e experiências principais; implicações para o letramento científico e o ensino de ciências.

Para Stinner (2008), a organização dos ECH se dá através da matriz de atividades científicas contextualizadas como proposta integradora das questões, experimentos e problemas que envolvem a natureza e história das ciências e os princípios pedagógicos, como se pode ver na figura 4, abaixo.

**Figura 4:** Níveis de investigação da pesquisa científica propostos por Stinner.



Fonte: Stinner (2008) - tradução nossa (2022).

Na figura 4, tem-se a estruturação do problema de amplo contexto enquanto uma proposta de ensino e aprendizagem das ciências, onde o professor deve realizar seu planejamento compreendendo três níveis de investigação da atividade científica, sendo eles: o fundante, envolvendo os processos de construção da teoria e prática sobre a ideia central unificadora; o de pesquisa como resultado da aplicação dos conhecimentos fundamentais

anteriormente definidos; e o pedagógico atrelado à estratégia que permitirá o envolvimento dos aprendizes com os aspectos dos outros dois primeiros níveis.

Stinner (2008) apresenta no fluxograma que se deve partir de pressupostos da ciência, entendido como o conceito construído para ser entendido em um processo de investigação científica cujo aspectos fundantes, de pesquisas e pedagógicos através de questões, experiências e problemas definidos para a construção do estudo de caso histórico que usamos nessa dissertação.

As setas indicam a dinâmica das etapas que orientam os elementos estruturantes dos PAC, no plano pedagógico as concepções prévias são valorizadas e reorientadas simultaneamente a partir das questões, as ferramentas pedagógicas se dão no âmbito das experiências vividas com o livro didático, outros materiais de fontes de estudo, desenvolvimento de projetos de pesquisas individuais e pensamentos experimentais (ideias outras) os quais podem suscitar mudanças estruturais nos pressupostos e novas questões ligadas à experimentação e ao pensamento experimental desenvolvido pela imersão nos conhecimentos da ciência, oriundos dos problemas pedagógicos e direcionadores de novos problemas de pesquisa concomitantemente.

O PAC nessa pesquisa foi entendido a partir das zonas do perfil conceitual de átomo, onde os diferentes modos de pensar e formas de falar o conceito de átomo compôs a ideia central unificadora (pressuposto da ciência) para o entendimento do fenômeno da queima dos fogos de artifício em contextos de ensino situados na história e atualidade.

Os pressupostos da ciência são entendidos como os elementos fundantes para a elaboração conceitual ou teoria-prática. O primeiro nível se vincula à origem das questões, problemas e experimentos envolvidos na construção da atividade científica teoria-prática, quanto ao pensamento e às ações realizadas.

No próximo nível, vêm as pesquisas resultantes da elaboração e aplicação das atividades teoria-prática desenvolvidas e suas implicações. E, por fim, o terceiro nível, o pedagógico, traz as estratégias, os métodos e as ferramentas do processo de ensino e aprendizagem relacionados à

compreensão da atividade científica teoria-prática e seus desdobramentos em estudo.

Todo esse detalhamento do PAC foi necessário para elaboração e aplicação do estudo de caso histórico no âmbito da sala de aula, compreendendo o nível III para nós, uma vez que a metodologia de ensino baseada nessa abordagem advém com implicações formativas para a prática educativa.

Assumimos, portanto, relacionar a teoria de ensino e aprendizagem dos perfis conceituais no tocante às proposições das zonas e da matriz semântica como resultantes do aprofundamento sobre a natureza e história da ciência ligada ao desenvolvimento das pesquisas que balizaram a formação conceitual e suas possibilidades discursivas no plano social da sala de aula sobre a ideia central ou o conceito (pressuposto da ciência) em estudo para a formação humana.

Isto é, para Stinner (2008) seriam os fundamentos (o que e como se construiu o pensamento conceitual teoria-prática), as de pesquisas (quais as consequências da teoria-prática na formação do pensamento conceitual) e as implicações para o letramento científico (qual e como o pensamento conceitual fomenta a dinâmica social discursiva para o exercício da cidadania).

Neste trabalho, considerou-se os aspectos fundantes do pensamento teórico ou conceitual que envolve a ideia unificadora – o conceito de átomo – a partir da estruturação dos modos de pensar e formas de falar cada zona dos perfis conceituais (Nível I), as quais estão associadas à diferentes contextos históricos e atuais.

Ligado ao problema de amplo contexto, os aspectos de pesquisa seriam as teorias-práticas científicas realizadas nos contextos históricos e recentes a fim de entender a existência e caracterização da tipologia dos átomos (pensamento conceitual) enquanto constituintes da matéria e suas aplicações (Nível II); e os aspectos pedagógicos emergem o planejamento e as experiências usadas no ensino e aprendizagem do pensamento conceitual e o PAC, bem como suas implicações formativas (Nível III).

Nesse sentido, buscou-se aprofundar processos discursivos nesse estudo no nível três para compreender dimensões da conceituação em ciências sobre o atomismo e a queima dos fogos de artifício.

Considerou-se os aspectos estruturado por Stinner *et al.* (2003), o contexto histórico, as principais ideias e experimentos, e as implicações dos estudos científicos e de seu ensino, ao apresentarmos o estudo de caso histórico enquanto processo de ensino e aprendizagem da dinâmica investigativa, dialógica e interativa sobre o fenômeno dos fogos de artifícios contextualizada historicamente com as ideias sobre o conceito átomo/modelo atômico na sala de aula.

### 2.2.2.1 – Planejamento da sequência didática envolvendo o estudo de caso histórico

A sequência didática (SD) foi planejada no tempo pedagógico de dez horas síncronas e seis horas assíncronas considerando as articulações anteriormente descritas nesse estudo e divulgada em Silva e Amaral (2021). Os momentos da SD foram divididos em cinco episódios síncronos, resultando um tempo de 8 horas e aproximadamente 33 minutos, os quais serão detalhadas a seguir no quadro 3, cuja sistematização descreve etapas, atividades, tempo e dados coletados.

**Quadro 3:** Sistematização descritiva da sequência didática.

<b>Etapas</b>	<b>Atividades</b>	<b>Tempo</b>	<b>Dados coletados</b>
Apresentação da sequência didática, aceite de participação e avaliação diagnóstica	1. Apresentação da sequência didática, os recursos e tempo necessários; 2. Aceite de participação com a assinatura do termo de consentimento livre e esclarecido 3. Realização do questionário diagnóstico.	1 hora	Respostas da aplicação do questionário
Debate sobre	1. Visualização e debates sobre experimentos		Interações discursivas após

experimento e exposição dialogada sobre o conceito átomo	envolvendo a queima dos fogos de artifício 2. Exposição dialogada sobre o conceito de átomo em contextos históricos da filosofia e ciência	1 hora	assistirem o vídeo de experimento sobre a queima dos fogos de artifício
Apresentação do enredo histórico e resolução de situações-problema	1. Leitura e debate do enredo para criação dos personagens cientistas sobre o problema de amplo contexto e a ideia central unificadora 2. Debates sobre as situações-problema	1 hora	Interações discursivas das situações-problema
Mapeamento do problema de amplo contexto e Apresentação de fluxogramas	1. Debates a partir de questões norteadoras de pesquisa simples, intermediárias e aprofundadas. 2. Apresentação dialógica dos fluxogramas sínteses da discussão das questões norteadoras de pesquisa simples, intermediárias e aprofundadas	5 horas e 33 minutos	Interações discursivas através das questões norteadoras de pesquisa simples, intermediária e aprofundadas; e durante as apresentações dos fluxogramas
Conferência final	1. Dramatização dialogada da conferência final para a resolução do enredo histórico sobre a relação do problema de amplo contexto e o conceito átomo.	1 hora	Interações discursivas durante a conferência final a partir das questões debatedoras

Fonte: autoria (2022).

No primeiro momento, apresentou-se os objetivos do estudo e como vivenciaríamos a proposta em formatos virtuais síncronos e assíncronos. Depois de assinado o termo de consentimento livre e esclarecido (TCLE) digitalmente (**apêndice A**), por meio do *google* formulário ([https://docs.google.com/forms/d/e/1FAIpQLSdi93ddmAn0J1LbysbILZUMb-\\_QNOfx7wyD2xpZkFZjFBi1yg/viewform](https://docs.google.com/forms/d/e/1FAIpQLSdi93ddmAn0J1LbysbILZUMb-_QNOfx7wyD2xpZkFZjFBi1yg/viewform)).

Por fim, aplicou-se o questionário diagnóstico (**quadro 4**), divididos em três seções, para conhecer o perfil dos estudantes e suas concepções sobre a composição dos materiais, o conceito átomo e a queima dos fogos de artifício em texto e imagem, disponível em formato *google* formulário (<https://docs.google.com/forms/d/e/1FAIpQLSd0VJRNPFlaeTjdHRz7czsS1rP4gXQsypH6Zsriqv9xvpSaQ/viewform>).

Ficou esclarecido também sobre o uso da sala virtual no *google classroom* com cinco fichas didáticas as quais orientavam o desenvolvimento das atividades sobre os objetivos de ensino e sua descrição para realização. O que para este momento se encontra na ficha didática 1 (**apêndice B**), disponível também em link do *google* documento (<https://docs.google.com/document/d/1DPjgMKuaUm51GjQGzTu3jGuqg-Gr-pbBqJpmovk2eE0/edit>).

#### **Quadro 4:** Questionário diagnóstico.

1. Fale sobre você.

a) Nome completo b) Idade c) Escola que estuda d) Série e) Número de whatsapp f) e-mail (gmail) g) Materiais tecnológicos digitais que possui h) Rede de internet que possui

2. Fale sobre os átomos/modelos atômicos e os materiais.

a) O que você entende sobre o átomo e os modelos atômicos?

b) Sobre a questão anterior, faça uma representação de como você entende o átomo e os modelos atômicos. Anexe a imagem.

c) Como você explicaria a composição química dos materiais?

d) Sobre a questão anterior, faça também um desenho para representar sua resposta e anexe a imagem.

e) Para você, a matéria é contínua ou descontínua?

f) Sobre a questão anterior, desenhe também sua resposta e anexe a imagem.

- g) De que forma os átomos se organizam para formar os materiais?
- h) Sobre a questão anterior, desenhe também sua resposta e anexe a imagem.
3. Fale sobre a queima dos fogos de artifício.
- a) Qual a composição química dos fogos de artifício?
- b) Usando a ideia de átomos/modelos atômicos, explique como é produzido o efeito de cores na queima dos fogos de artifício.
- c) Usando a ideia de átomos/modelos atômicos, desenhe sua resposta que explica como é produzido o efeito de cores na queima dos fogos de artifício e anexe a imagem.

Fonte: autoria (2022).

No segundo encontro síncrono, procedeu-se a visualização e o debate dialógico sobre um vídeo de experimento disponível na plataforma digital *Youtube* no canal “Manual do Mundo” intitulado como fazer o fogo colorido, disponível no link [https://www.youtube.com/watch?v=OMe\\_X-oh2mc](https://www.youtube.com/watch?v=OMe_X-oh2mc), de duração de 5 minutos e 44 segundos.

Em seguida, procedemos com a exposição dialogada a partir de questionamentos geradores de interações, por meio do uso do conteúdo de atomística, presente no material de apresentação adaptado pelo pesquisador de uma aula da disciplina Química Geral e Experimental I produzido pelo professor Marcel Piovezan do Instituto Federal de Santa Catarina, disponível no seguinte link: [https://docente.ifsc.edu.br/QGE\\_PQ/Aula\\_1\\_A](https://docente.ifsc.edu.br/QGE_PQ/Aula_1_A) -, em formato de seis *slides* do aplicativo *Microsoft Power Point* com o título “A história do átomo: os modelos atômicos” (**apêndice C**).

Finalizou-se esse encontro com a visualização de um vídeo da plataforma digital *Youtube* do canal “Filosofia & Ciência – Documentários e Aulas” intitulado documentário: história dos modelos atômicos, com duração de 13 minutos e 30 segundos, disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=XzPnT7bPxdo>.

No terceiro momento foi apresentado o enredo histórico (**quadro 5**) para os estudantes discutirem o problema de amplo contexto sobre o fenômeno da queima de fogos de artifício e a ideia central unificadora definida nesse estudo como o conceito átomo enquanto modelo teórico de explicação da realidade.

### Quadro 5: Story line.

No ano de 1935, na cidade de Copenhague sediou uma importante conferência internacional entre os cientistas de um programa de pesquisa que investiga a teoria atômica, para debaterem algumas questões ligadas à estrutura da matéria a partir do fenômeno da queima de fogos de artifício. Ao final desse encontro, espera-se que cheguem num consenso sobre qual teoria atômica/modelo atômico explica com rigor essa transformação química.

Fonte: autoria (2022).

Ainda aqui se dividiu os participantes em quatro grupos de três considerados cientistas-alunos. Contudo, um deles só apresentava dois devido ao total de estudantes ser onze. Para isso, também foi orientado a necessidade de leitura orientada pelos textos disponibilizados na sala de aula virtual, registros individuais no diário de pesquisa histórica científica (DPHC), indicando nome, data e referências das informações, no sistema autor (es) – ano, com reflexões próprias e sobre a escrita de outro cientista-aluno pertencente ao mesmo grupo, se fosse possível também, como pode ser visto na figura 5, no exemplo do DPHC do grupo 1 de cientistas-alunos.

Figura 5: Diário de pesquisa histórica científica – Grupo 1.



Fonte: autoria (2022).

Sendo disponibilizados os seguintes textos suporte para a investigação: Fogos de artifício – História, Ciência e Sociedade (FREITAS, 2012), com

ênfase nos capítulos 1 e 2; Fogos de artifício: imagens, mitos e símbolos (COSTA; SILVA, 2018); Modelos atômicos no início do século XX: da física clássica à introdução da teoria quântica (LOPES, 2009); A eterna busca do indivisível: do átomo filosófico aos quarks e léptons (CARUSO; OGURI, 1997); Controvérsias sobre o atomismo no século XIX (OKI, 2009); Breve discussão histórica sobre a “descoberta” dos lantanídeos e sua relação com as teorias de luz e cores de Maxwell e Einstein (GALVÃO; MENESES, 2016); A matéria não é contínua: a química explica o visível com o invisível (MARSON *et al.*, s. d.).

Em seguida, foi debatido duas situações-problemas (**quadro 6**) a fim de situar histórico-cultural e atualmente contextos precisos para generalizações sobre a ideia principal e o PAC da realidade brasileira e regional nordestina. Disponibilizou-se as informações desses últimos dois quadros na ficha didática 5 (**apêndice D**), como também de outros elementos necessários ao desenvolvimento e finalização do estudo de caso histórico.

#### **Quadro 6:** Situações-problema.

**Problema 1:** Você volta para casa na época de São João, depois de uma longa jornada de pesquisas científicas, para comer a tão desejada comida de milho, dançar o forró inesquecível e soltar os fogos juninos. Em um instante, seu sobrinho pergunta: de que são feitos os fogos de artifício? De onde vem esse colorido?

**Problema 2:** No réveillon de 2019, você foi a praia passar a entrada do novo ano com sua família e amigos. Como de costume, apresenta-se shows de bandas e cantores famosos, bem como um espetáculo de queima de fogos de artifício. Deixando aquela emoção mais forte do começo de ano novo com todo o colorido no céu. Quais materiais são usados para esse evento? E o que provoca esse show de cores?

Fonte: autoria (2022).

Com o quarto momento foi possível ampliar o mapeamento do caso histórico em estudo envolvendo o PAC e o conceito átomo através da incursão em ideias, experiências, leis, princípios e teorias pesquisadas, debatidas, registradas e socializadas baseada em questões norteadoras simples (**quadro 7**), intermediárias (**quadro 8**) e aprofundadas (**quadro 9**), entre outras que emergissem.

Além de terem sido orientadas as apresentações por modelos de fluxogramas (**figuras** 6, 7, 8 e 9) elaborados nessa pesquisa relacionando-se aos modos de pensar e formas de falar cada zona do perfil conceitual de átomo, e os seus respectivos episódios/espaco-tempo históricos, com as principais leis, experimentos e estudos desenvolvidos na ciência e em seu processo educativo, alinhados à distribuição dos grupos 1 ao 4 de cientistas-alunos, de cima para baixo, como visualizados nos quadros.

Todas as orientações para o desenvolvimento dessas atividades foram disponibilizadas na sala de aula virtual no formato de *google* documento, nomeados de fichas didáticas 2, 3 e 4 (**apêndices** E, F e G).

**Quadro 7:** Questões norteadores simples.

<b>FOGOS DE ARTIFÍCIO E AS CIVILIZAÇÕES CHINESAS, GREGAS E ARÁBICAS ANTIGAS</b>
<ol style="list-style-type: none"> <li>1. O que é o fogo artificial e sua relação com a estrutura e o processo de queima?</li> <li>2. Como se fazia o fogo artificial na civilização chinesa, grega e árabe antiga?</li> <li>3. Qual a composição do fogo artificial para esses povos?</li> <li>4. Para que usavam o fogo artificial essas civilizações?</li> <li>5. Como se explicava a estrutura dos materiais e a cor do fogo artificial produzido pelos chineses, gregos e árabes antigos?</li> </ol>
<b>FOGOS DE ARTIFÍCIO ENTRE OS SÉCULO XV E XVIII</b>
<ol style="list-style-type: none"> <li>1. O que é o fogo artificial e sua relação com a estrutura e o processo de queima?</li> <li>2. Como se fazia o fogo artificial na civilização europeia do século XV ao XVIII?</li> <li>3. Qual a composição do fogo artificial para esse povo?</li> <li>4. Para que usavam o fogo artificial na Europa dessa época?</li> <li>5. Como se explica a estrutura dos materiais e a cor do fogo artificial produzido pelos europeus nesse tempo histórico?</li> </ol>
<b>FOGOS DE ARTIFÍCIO NO SÉCULO XIX</b>
<ol style="list-style-type: none"> <li>1. O que é o fogo artificial e sua relação com a estrutura e o processo de</li> </ol>

queima no século XIX?

2. Como se fazia o fogo artificial no século XIX?
3. Qual a composição do fogo artificial nesse momento histórico?
4. Para que usavam o fogo artificial nessa época?
5. Como se explica a estrutura dos materiais e a cor do fogo artificial produzido nesse século?

### **FOGOS DE ARTÍFICIO NO SÉCULO XX**

1. O que é o fogo artificial e sua relação com a estrutura e o processo de queima no século XX?
2. Como se fazia o fogo artificial no século XX?
3. Qual a composição do fogo artificial nesse momento histórico?
4. Para que usavam o fogo artificial nessa época?
5. Como se explica a estrutura dos materiais e a cor do fogo artificial produzido nesse século?

Fonte: autoria (2022).

**Quadro 8:** Questões norteadoras intermediária.

### **FOGOS DE ARTÍFICIO E AS CIVILIZAÇÕES CHINESAS, GREGAS E ARÁBICAS ANTIGAS**

1. Descreva a matéria contínua do fogo artificial.
2. Em que é baseada a continuidade da matéria para a negação do átomo e o vazio?
3. Qual a relação da ideia de continuidade da matéria com a queima dos fogos de artifícios?

### **FOGOS DE ARTÍFICIO ENTRE OS SÉCULO XV E XVIII**

1. Descreva a matéria constituída por partículas infinitesimais na queima do fogo de artifício.
2. Por que se mostrou um experimento que provava a existência do vácuo e ainda se negava o vazio na matéria?

### **FOGOS DE ARTÍFICIO NO SÉCULO XIX**

1. Descreva a matéria constituída por modelo atômico na queima do fogo de artifício.
2. Como você demonstra a descontinuidade da matéria? Explique usando a

ideia de modelo atômico.

3. Que limitações traz o substancialismo para explicar a matéria constituída por átomos?

### **FOGOS DE ARTÍFICIO NO SÉCULO XX**

1. Descreva a matéria constituída por algum modelo atômico na queima do fogo de artifício do século XX.

2. Como você demonstra a superação da ideia contínuo-descontínuo na matéria pela ideia de átomo?

3. Que limitações traz a visão substancialista, mecanicista e corpularista da partícula e subpartículas para explicar a matéria constituída por átomos e partículas subatômicas?

4. O que é a realidade quântica da matéria? Explique usando a ideia de átomo quântico.

Fonte: autoria (2022).

**Quadro 9:** Questões norteadoras aprofundadas.

### **FOGOS DE ARTÍFICIO E AS CIVILIZAÇÕES CHINESAS, GREGAS E ARÁBICAS ANTIGAS**

1. Sabendo dos materiais necessários para a queima dos fogos de artifícios pelos povos antigos, como você explicaria a produção do fogo artificial?

2. Explique como você pode mostrar a continuidade da matéria nos materiais do fogo artificial?

3. Você pode explicar a estrutura da matéria do fogo artificial comparando a composição dos elementos primordiais com a dos átomos na civilização grega antiga?

4. Compare o vazio com a ideia de átomo na matéria?

5. Caracterize cada material do fogo artificial por meio dos elementos primordiais.

6. A que se deve a cor exibida no fogo artificial?

### **FOGOS DE ARTÍFICIO ENTRE OS SÉCULO XV E XVIII**

1. Sabendo dos materiais necessários para a queima dos fogos de artifícios pelos povos da Europa, como você explicaria a produção do fogo artificial?

2. Explique como você pode mostrar as características dos materiais na queima do fogo artificial?

3. Você pode explicar a estrutura da matéria do fogo artificial por partículas infinitesimais que permanecem contínuas, sem vazio, nesse tempo histórico?
4. Demonstre o experimento de Torricelli.
5. Caracterize cada material do fogo artificial por meio da ideia de partículas infinitesimais.
6. A que se deve a cor exibida no fogo artificial, segundo a visão de Newton?

#### **FOGOS DE ARTÍFICIO NO SÉCULO XIX**

1. Sabendo dos materiais necessários para a queima dos fogos de artifícios no século XIX, como você explicaria a produção do fogo artificial?
2. Explique como você pode mostrar as características dos materiais na queima do fogo artificial?
3. Você pode explicar a estrutura da matéria do fogo artificial por um modelo atômico imagético, descontínuo e sem a visão substancialista para explicar suas interações nesse tempo histórico?
4. Demonstre os experimentos envolvidos na explicação do modelo atômico no século XIX.
5. Caracterize cada material do fogo artificial por meio da ideia de modelo atômico do século XIX.
6. A que se deve a cor exibida no fogo artificial? Explique através da ideia de modelo atômico desse período?

#### **FOGOS DE ARTÍFICIO NO SÉCULO XX**

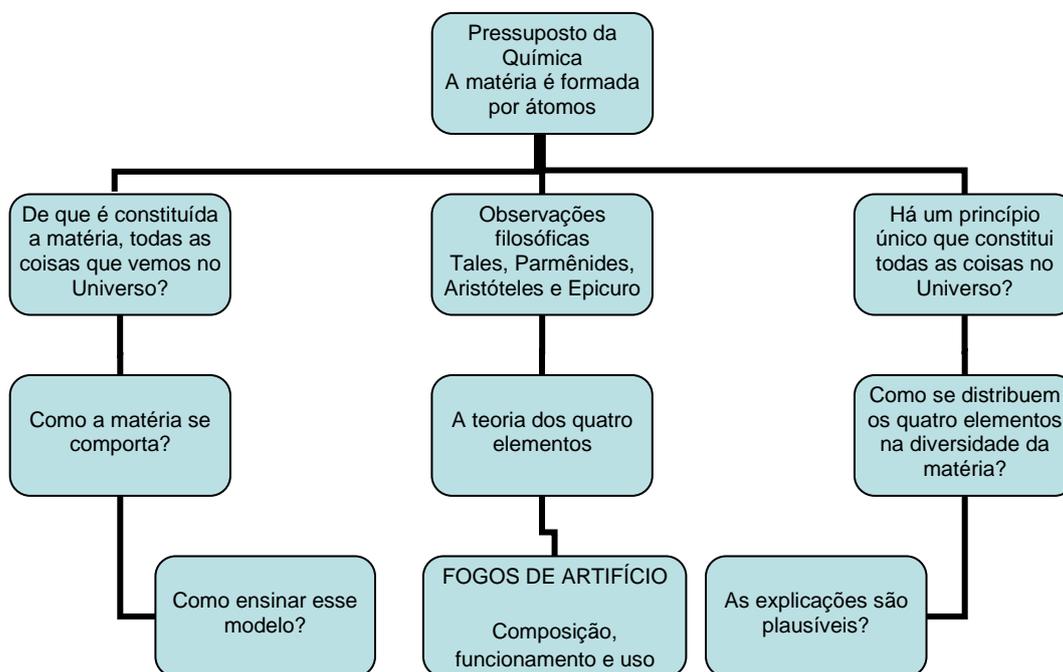
1. Sabendo dos materiais necessários para a queima dos fogos de artifícios no século XX, como você explicaria a produção do fogo artificial?
2. Explique como você pode mostrar as características dos materiais na queima do fogo artificial?
3. Você pode explicar a estrutura da matéria do fogo artificial por átomo representado por uma equação matemática, descontínuo, dualístico, indeterminado, quantizado e sem a visão substancialista, mecanicista e corpularista nas suas interações nesse tempo histórico?
4. Demonstre os experimentos e teorias envolvidas na explicação do átomo no século XX.
5. Caracterize cada material do fogo artificial por meio da ideia de átomo do século XX.

6. A que se deve a cor exibida no fogo artificial? Explique através da ideia de átomo nesse período histórico?

Fonte: autoria (2022).

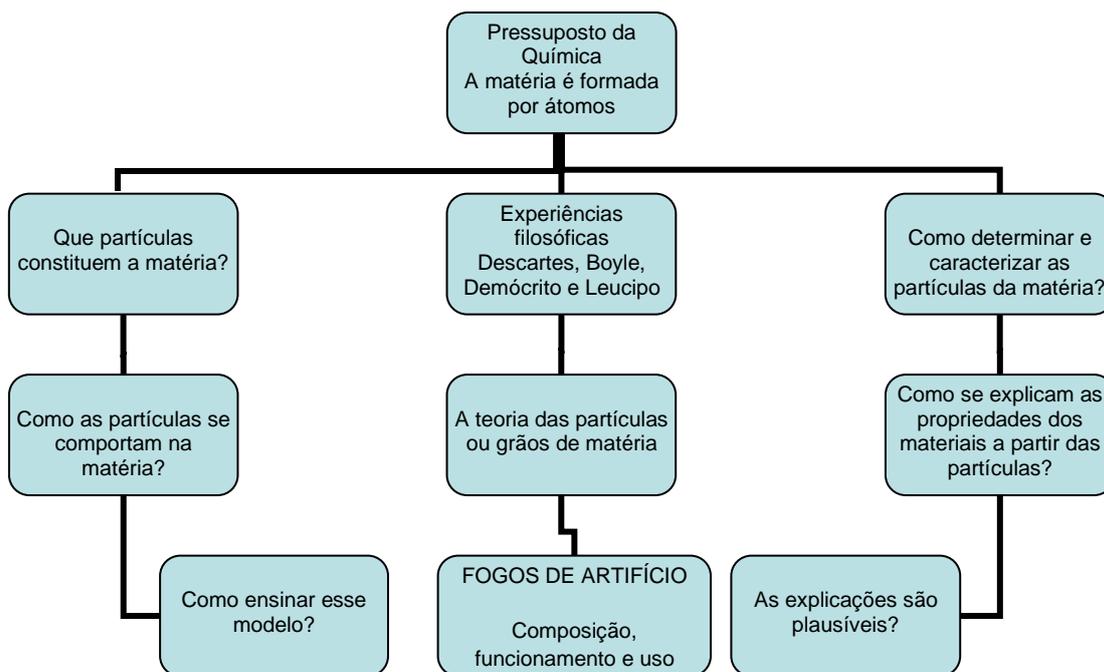
Os fluxogramas elaborados ajudaram a sistematizar os elementos estruturantes do estudo de caso histórico, envolvendo o contexto histórico, o desenvolvimento teórico-prático das ideias e suas implicações para a ciência e sua educação, envolvendo os três níveis de compreensão dos PAC, fundante, de pesquisa e pedagógico, e cada zona do PCA, sensorialista, substancialista, átomo clássico e quântico, ligando suas categorias com as questões, pesquisas e experiências desenvolvidas naqueles níveis do PAC. Além disso, como descrito acima serviu de base para os estudantes participantes se guiarem na construção de seus fluxogramas baseadas nas diferentes questões norteadoras de pesquisa apresentadas nos quadros anteriores.

**Figura 6:** Fluxograma do PAC para a zona sensorialista.



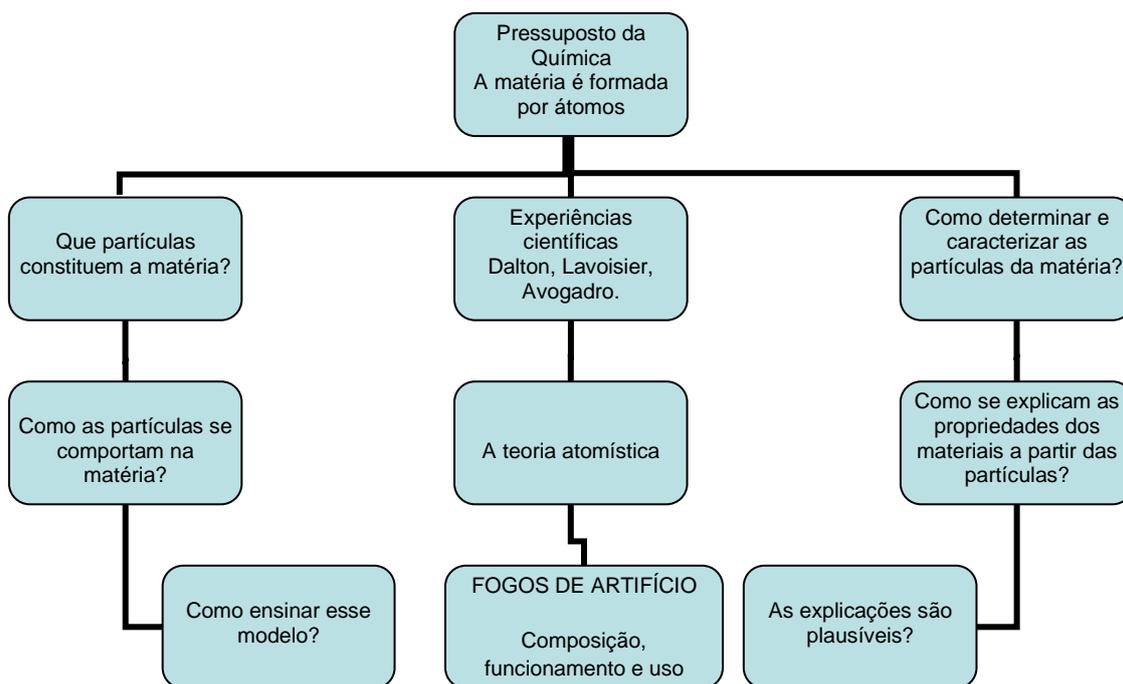
Fonte: autoria (2022).

**Figura 7:** Fluxograma do PAC para a zona substancialista.



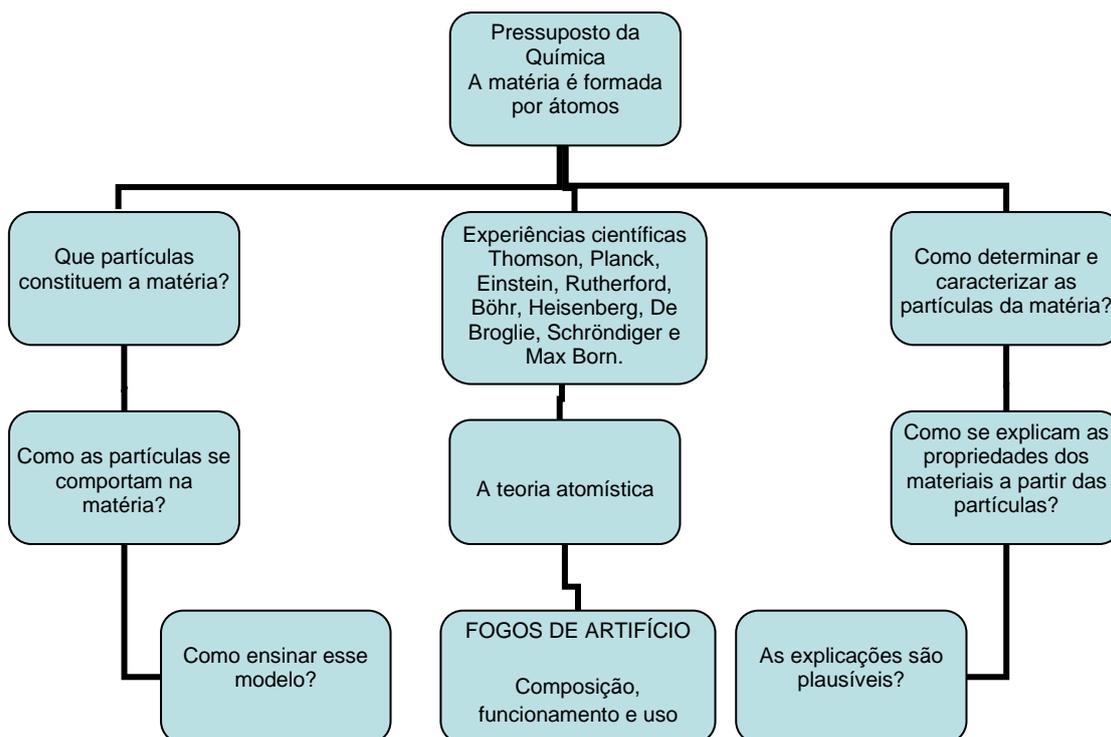
Fonte: autoria (2022).

**Figura 8:** Fluxograma do PAC para a zona de átomo clássico.



Fonte: autoria (2022).

**Figura 9:** Fluxograma do PAC para a zona de átomo quântico.



Fonte: autoria (2022).

No quinto momento, realizou-se a conferência final de debate sobre a resolução do *story line*. Para isso, primeiramente, os estudantes construíram com as orientações da ficha de construção (**quadro 10**) suas ideias e argumentos sobre o desenvolvimento histórico e atual do problema de amplo contexto e a ideia central unificadora.

**Quadro 10:** Ficha de construção do desenvolvimento histórico e atual.

1. Principais princípios, leis, experimentos, expressões matemáticas e representações defendidas pela ideia central átomo e o problema de amplo contexto da queima dos fogos de artifícios em seu desenvolvimento histórico e atual.
2. Criar uma palavra ou expressão de palavras que o seu eu cientista defende sobre a composição das coisas do universo.

Fonte: autoria (2022).

Além de sua autobiografia a partir da ficha de construção do eu-personagem ou cientista-aluno<sup>21</sup> (**quadro 11**) de pesquisa científica, baseada na técnica de preparação do ator de construção de personagem de Stanislavski, oriundo da experiência do pesquisador enquanto artista de teatro, cinema e dança. Ambas as orientações desses dois últimos quadros referenciados foram postadas na sala de aula virtual na ficha didática 5 (**apêndice D**).

**Quadro 11:** Ficha de construção do eu-personagem ou cientista-aluno.

1. Nome, parentesco e outras informações familiares.
2. Idade, local onde vive, profissão, situação familiar e profissional atual conforme o *story line* apresentado.
3. Descrição dos principais fatos e emoções vividas até o momento (Afetivas, traumas, crenças, momentos felizes ou tristes).

Fonte: autoria (2022).

A realização da conferência final se deu com a resolução do PAC e suas relações com a ideia de modelo atômico que o explica conforme as perguntas do roteiro do debate da conferência final (**quadro 12**), promovendo uma interação dialógica entre o professor/pesquisador (líder do grupo de pesquisa) e os cientistas-alunos (membros do grupo de pesquisa), e, entre eles, após toda resolução do estudo de caso histórico.

**Quadro 12:** Roteiro do debate da conferência final.

- 1 – De que são feitos os fogos de artifícios?
- 2 – Após a queima é produzido um colorido, você acha que isso é devido a que?
- 3 – Que modelo atômico você diria que explica o fenômeno da queima dos fogos de artifícios?
- 4 – O que você achou da vivência? (Ao final do ECH)

Fonte: autoria (2022).

---

<sup>21</sup>Definimos esse termo a partir da ideia que o estudante construiu a sua própria personagem cientista que dramatizou na conferência final do estudo de caso histórico.

### 2.3 - Instrumentos de coleta de dados

A estruturação da primeira matriz semântica do perfil conceitual de átomo foi baseada no procedimento de revisão bibliográfica, descritos na subseção 2.2.1 deste capítulo metodológico, utilizando-se como instrumento de coleta de dados artigos de periódicos e eventos nacionais e internacionais; trabalhos de monografias, dissertações e teses publicados na web; e livros-textos disponíveis impressos e online, relacionados ao estudo do conceito átomo.

Além desses, utilizou-se de um questionário diagnóstico a fim de identificar concepções estudantis acerca do objeto e fenômeno de estudo. Como também os registros textuais escritos no DPHC, os fluxogramas elaborados resultantes das questões orientadoras de pesquisa, as vídeo gravações, como memória auxiliar do pesquisador, e observações sistemáticas para estruturação de episódios de ensino das interações discursivas presentes na aplicação do estudo de caso histórico.

### 2.4 - Análise dos dados

Os dados foram analisados através das inferências e relações interpretativas do pesquisador envolvendo o campo teórico do perfil conceitual de átomo e do estudo de caso histórico e empírico oriundos do fazer dessa dissertação em atingir seus objetivos.

Trazendo à tona o movimento de concepções históricas e estudantis presentes na literatura, nas respostas dos questionários diagnósticos e nas transcrições de episódios de ensino envolvendo as interações discursivas presentes na aplicação da metodologia do estudo de caso histórico.

Para analisar o conjunto de dados, utilizou-se as zonas do perfil conceitual de átomo já oriundas do trabalho de Mortimer (1994; 2000), zona sensorialista, substancialista, átomo clássico e quântico, *a priori*, e *a posteriori*, zonas híbridas com visões generalista, animista, generalista, pragmática estética social, funcionalista e realista interno, e entre o átomo clássico e quântico, junto à estruturação das naturezas-culturas, o atomismo e o antiatomismo, e temas epistemológicos construídos da filosofia e ciência para a

primeira proposta de matriz semântica do conceito de átomo enquanto também produto desta dissertação. Organizando também por meio de planilhas do Microsoft Excel, gráficos e quadros.

Além disso, nos processos de enunciação, têm-se também expressões por entonação, gestos, ações verbais ou não, símbolos e palavras/discursos que trazem significações, composto por signos e instrumentos mediadores promotores das operações mentais superiores como a consciência, o controle, a atenção, a generalização e a abstração relacionados às categorias de análise do ECH (STINNER *et al.*, 2003), o contexto histórico, as principais ideias e experimentos, e as implicações dos estudos científicos e seu ensino, assim como as sub categorias a estas ligadas, descritas a seguir: mapeamento do contexto do conceito central; fornecimento de experiências do cotidiano; invenção de um enredo histórico/narrativa histórica com ideias conflitantes; garantia de ideias, conceitos e problemas maiores do contexto; focalização da narrativa histórico-cultural e atual envolvendo por meio de situações-problemas, de aproximações e distanciamentos das ideias, problemas e conclusões individuais das conexões do conceito; mapeamento e projeção do contexto do enredo histórico; resolução do evento histórico.

## CAPÍTULO III

### RESULTADOS E DISCUSSÃO

Gedanken já sentia a cair há alguns minutos. Ainda conseguia ver a abertura do poço por onde escorregara. Mas, já não era mais do que uma pequenina mancha de luz, lá muito em cima. E ainda não chegara ao fundo do poço. (STANNARD, 2006, p. 11)<sup>22</sup>

As narrativas históricas e informais trazidas na análise dessa investigação se alinham às palavras do físico Russel Stannard, destacada acima, extraída de uma obra de divulgação científica lúdica, intitulada “O Tio Alberto e o Mundo dos Quanta”.

Na história, a personagem Gedanken, sobrinha do tio Alberto, viajou no mundo dos quanta, semelhante à viagem realizada por Alice no País das Maravilhas, e, assim como ela, ao debruçar nesse estudo com a proposta de compreender modos de pensar e falar distintos sobre os modelos atômicos através da TPC na sala de aula, senti-me escorregando em uma abertura do poço, considerado o universo das pesquisas sobre as visões epistemológicas, ontológicas e axiológicas do conceito em estudo, onde parecia não haver um caminho definido.

Quando a luz brilhou, percebemos onde nos situávamos nesse arcabouço científico do programa de pesquisa TPC e do ECH de Arthur Stinner. Embora, ao final, pareceu que ainda não havíamos chegado até o fim, pois, parece que não tem fim.

É nesse sentido que o programa de pesquisa da TPC explicita e orienta a área de investigação em educação em ciências na dinâmica da sala de aula, com o movimento das concepções históricas e informais, baseada na perspectiva histórico-cultural, a fim de proporcionar a elaboração e vivências de estratégias em contextos enriquecedores pelos modos de pensar e pelas formas de falar conceitos científicos para a mudança do perfil conceitual.

---

<sup>22</sup>STANNARD, R. **O Tio Alberto e o Mundo dos Quanta**. [Trad. Jorge Manuel Costa Almeida e Pinho] Edições 70, LDA, 2006.

Aqui iremos adotar a vertente epistemológica de construção conhecimento a partir de uma análise dos processos por rupturas paradigmáticas, com alternância de períodos de ciência normal e revolução científica, como descritos na obra de Kuhn (2007).

Para isso, argumentaremos a presença das ideias atomísticas em naturezas-culturas diferentes analisadas pela epistemologia kuhniana, sendo elas: o atomismo e o antiatomismo na filosofia e na ciência.

Inicia-se a análise pela caracterização dos sujeitos e identificação das zonas do PCA nas respostas do questionário e nas interações discursivas do estudo de caso histórico, relacionando às categorias do discurso em processos de enunciação, à emergência dessas zonas em episódios de ensino e às categorias de estruturação/análise do ECH. Por fim, uma síntese da primeira matriz semântica envolvendo a triangulação dos dados coletados nessa pesquisa teórica e empírica.

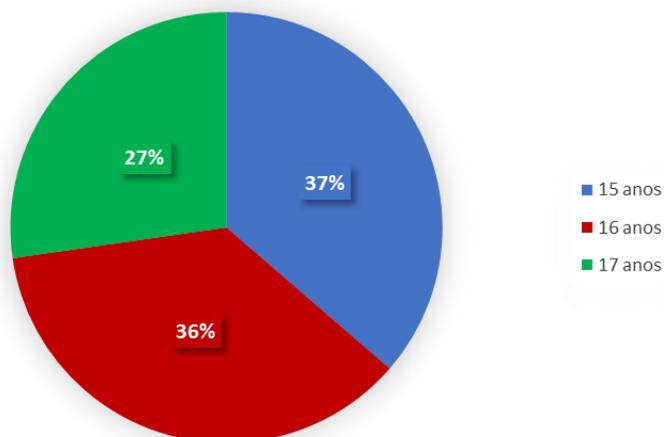
### 3.1 - Análise do instrumento questionário diagnóstico

A análise do questionário diagnóstico foi desenvolvida por meio da perspectiva interpretativa relacionando os significados e sentidos atribuídos às zonas do perfil conceitual de átomo, propostas por Mortimer (2000), em diálogo com os estudos já publicados sobre as concepções atomísticas e a queima dos fogos de artifício, além da caracterização dos estudantes.

#### 3.1.1 – *Caracterização dos estudantes participantes*

Foram 11 estudantes participantes e respondentes, com faixa etária entre 15 e 17 anos, sendo 4 (37%), 4 (36%) e 3 (27%), como mostra o gráfico 1.

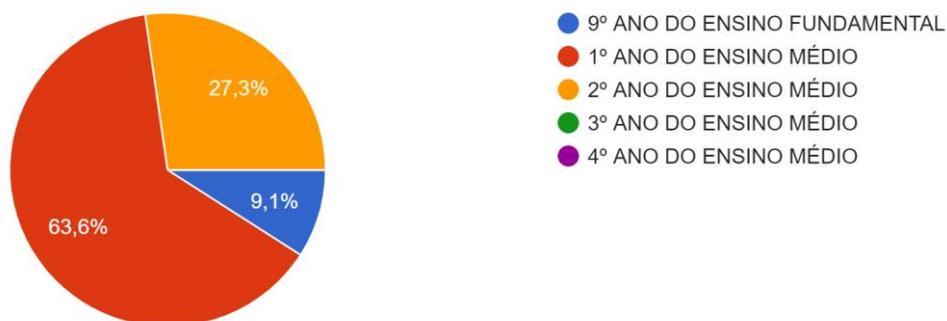
**Gráfico 1:** Faixa etária.



Fonte: autoria (2022).

A série/ano e o nível de ensino são descritos no gráfico 2, a seguir: 1 (9,1%) do 9º ano do ensino fundamental, 7 (63,6%) do 1º ano do ensino médio e 3 (27,3%) do 2º ano do ensino médio.

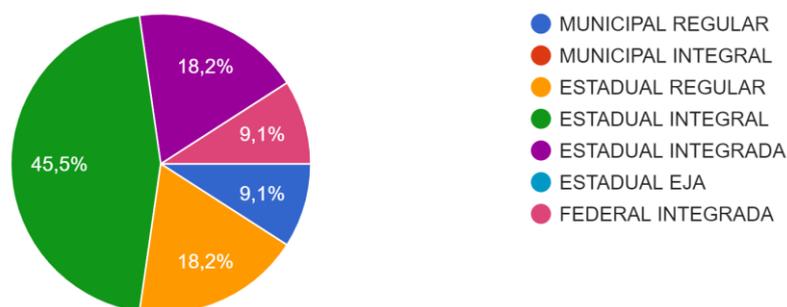
**Gráfico 2:** Série/ano e nível de ensino.



Fonte: autoria (2022).

Sobre as unidades de ensino, o gráfico 3 descreve o tipo e a modalidade de ensino dos estudantes: 1 (9,1%) municipal regular, 2 (18,2%) estadual regular, 2 (18,2%) estadual integrada, 5 (45,5%) estadual integral, 1 (9,1%) federal integrada.

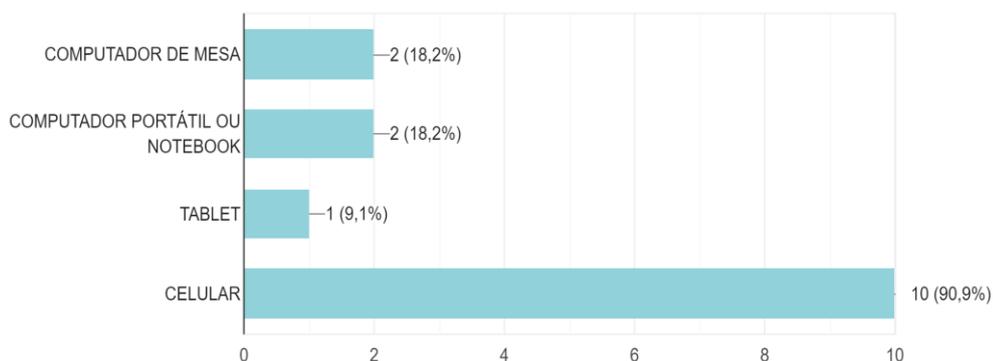
**Gráfico 3:** Tipo e modalidade de ensino.



Fonte: autoria (2022).

Quando se perguntou sobre os recursos tecnológicos foi evidenciado que quase todos possuem celular smartphone, 10 (90,9%) deles, 1 (9,1%) possuidor de tablet, 2 (18,2%) com computador de mesa e 2 (18,2%) como sendo portátil ou notebook (**gráfico 4**).

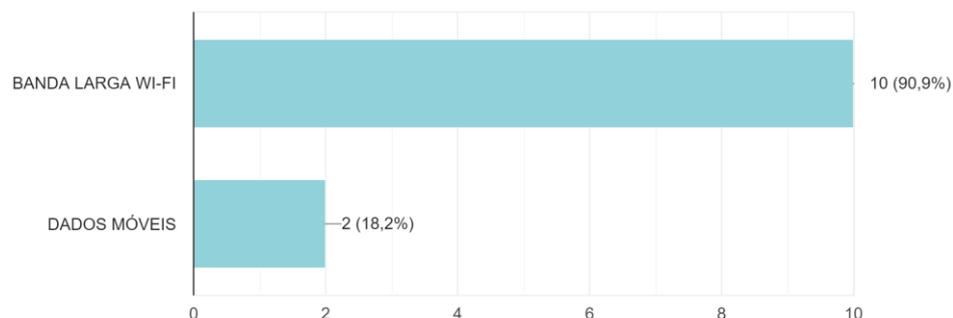
**Gráfico 4:** Recursos tecnológicos disponíveis.



Fonte: autoria (2022).

No tocante ao acesso à web, 10 (90,9%) com banda larga Wi-Fi e 2 (18,2%) somente com dados móveis (**gráfico 5**).

**Gráfico 5:** Tipo de acesso à Web.



Fonte: autoria (2022).

Considera-se importante destacar o cenário em que se desenhou a aplicação desse estudo, cuja pandemia de Covid-19 promoveu (e) em tese ou em seus aspectos legais a necessidade de distanciamento e isolamento social para garantir o direito à vida necessário à continuidade da formação da cidadania.

No âmbito educacional, isso desvelou realidades múltiplas e quanto ao acesso à educação, às práticas de ensino e aprendizagem, e ao trabalho docente se mostraram desafiadora, possíveis avanços e com consequências avassaladoras principalmente para determinados grupos socioeconômicos e culturais, modalidades e níveis de ensino (MENDES NETTO *et al.*, 2021).

Isso é retratado bem nos dados acima, pois o grupo de estudantes são de diferentes unidades e modalidades de ensino, porém todas do ensino público. Além disso, as condições de acesso à internet e aos materiais tecnológicos distintos para manter o processo educativo enquanto direito também fundamental para o desenvolvimento de homens e mulheres construtores da sociedade de suas futuras gerações com suas lutas e conquistas atuais.

Esses aspectos foram preponderantes para refletir e redesenhar o caminho vivido por eles nesse estudo, sobretudo, após a etapa de qualificação do projeto de pesquisa. Uma vez que não se pode dissociar essas questões dos aspectos formativos que se mostraram em uma dialética teórico-empírica, mediada das novas tecnologias digitais da informação e comunicação.

Deveras, são elementos importantes para buscar subsídios que sustentem argumentos educativos em outros formatos possíveis, como o da educação híbrida online aqui delimitada pelas bases filosóficas, teóricas e

metodológicas que sistematiza a teoria de ensino e aprendizagem dos perfis conceituais, dentro de situações como essa de crise sanitária, planetária e violação de direitos fundamentais garantidos em nossa Constituição Federal de 1988.

Embora não seja o escopo de nosso objetivo e problema de pesquisa, a discussão anterior se fez necessária por não se pode desvincular das práticas sociais aqui propostas ao experienciar uma educação científica distante do contexto em que estamos inseridos ou da realidade-mundo histórico-cultural que nos é possível vivenciar nossas utopias sobre e para a educação em ciências e pesquisa desse campo.

### 3.1.2 - Concepções atomísticas e da composição de materiais

Ao serem perguntados sobre o entendimento de átomo e modelos atômicos, todos de alguma maneira explicitaram visões científicas do conceito, pois as explicações se vinculam a algum tipo sentido e significado ligado aos modelos atômicos científicos, por meio da descrição de sua estrutura teórica, imagética ou análoga (**quadro 13**).

**Quadro 13:** Concepções dos estudantes sobre o entendimento do conceito átomo/modelos atômicos.

Estudantes	Concepções
E1	Átomos são conhecidos como as partículas "indivisíveis" da natureza, embora já se saiba que na verdade eles são as menores partículas comuns aos vários tipos de materiais existentes, pois existem partículas menores que ele, como, por exemplo, os quarks. Os modelos atômicos são as formas como os cientistas tentam representar os átomos, visto que eles não podem ser vislumbrados nem mesmo com o auxílio do mais potente microscópio.
E2	Pelo meu conhecimento mínimo sobre o assunto, sei que tudo o que há e que já existiu foi e é feito de vários átomos que interligados deram origem a diversas, como tais, essas que são só umas das mais importantes: as estrelas, as constelações, o universo, e um mais importante, a vida.
E3	Eu sei que são bolinhas que compõe o nosso corpo.
E4	Átomo=energia, tipo uma unidade energética, como, por exemplo, uma célula é a menor representatividade de vida, portanto, o átomo é a menor representatividade de energia. Modelos Atômicos entendo por diferentes tipos de Átomos.

E5	Sei que átomos são o que constituem tudo e que são formados por prótons e nêutrons como base e em volta da base tem os elétrons em constante movimento.
E6	Os modelos atômicos são os aspectos estruturais dos átomos o Átomo é uma unidade básica de matéria.
E7	A ideia de átomo foi pensada para a menor partícula das coisas e os modelos atômicos são feitos para mostrar a forma e a partir disso explicar o comportamento.
E8	Entendo que o átomo está presente em todas as matérias, existem diversos tipos de modelos atômicos, mas o último a ser "descoberto" foi o de Rutherford-Böhr que era o que tinha as camadas.
E9	O átomo seria a menor composição presente na matéria. É eletricamente neutro, e composto de três tipos de partículas: os prótons, de carga positiva; os elétrons, negativos; e os nêutrons, que não possuem carga. Em um átomo, o nº de prótons e elétrons é igual, já que a carga é neutra (caso contrário, temos um íon). Os prótons e nêutrons estão na parte central do átomo, chamada núcleo, e definem a massa do átomo (cada um deles valendo 1). O número de prótons define o elemento que é formado. Já os elétrons são de massa desprezível, e orbitam rapidamente pelo núcleo em camadas determinadas (modelo de Rutherford-Bohr).
E10	Os modelos atômicos são uma forma de compreender melhor o átomo.
E11	Uma bola que é a menor partícula.

Fonte: autoria (2022).

Do exposto no quadro, a zona de átomo clássico está identificada em nove das respostas dadas por reconhecerem estar “[...] presente em todas as matérias [...] (E8)”, “[...] as partículas ‘indivisíveis’ da natureza” [...] (E1) enquanto modelos científicos.

Dentre essas nove respostas, cinco se mostraram híbridas, ao trazerem ideias que transitam entre a noção clássica e quântica, uma vez que se aproximam com as propostas de modelos atômicos do final do século XIX e início do século XX, corroborando com os achados no estudo de Silva e Amaral (2020), tais como, “[...] composto de três tipos de partículas: os prótons, de carga positiva; os elétrons, negativos; e os nêutrons, que não possuem carga [...]” (E9).

Já duas das respostas se evidenciaram realista quando associaram a bolinhas, compreendendo a zona sensorialista, como ilustrado a seguir: “Eu sei que são bolinhas que compõe o nosso corpo.” (E3).

Ainda é possível identificar que os estudantes apresentam o conceito átomo/modelos atômicos como modelo teórico, representação ou criação imagética análoga a uma forma geométrica como partícula única ou constituído de outras partículas, exceto quando um deles evidencia a compreensão distorcida da natureza desse conhecimento por entender ser descoberto, a saber: “[...] o último a ser “descoberto” foi o de Rutherford-Böhr que era o que tinha as camadas.” (E8).

Acredito que o processo de mediação do professor nas experiências pedagógicas sobre a natureza científica dos modelos teóricos possa ter relação com a dificuldade identificada na resposta do E8 quanto ao progresso dos conhecimentos, não ser exclusiva do mundo observável e experiencial, melhor dizendo, da natureza física visível. Uma vez que a ideia de átomo não passa pela realidade de mundo físico do estudante, sendo, portanto, considerada sua existência pela criação de modelos (FRANÇA; MARCONDES; CARMO, 2009).

Além disso, o uso de analogias apresentados em E3 e E11 como formato geométrico de bolinhas traz vestígios do corpularismo e mecanicismo ainda tão presentes na concepção atomística do modelo científico proposto no século XIX.

No estudo de Melo e Lima Neto (2013) essa concepção é considerada no modelo de Dalton, embora possam ter estudados outros em aulas de química, não houve uma relação problematizadora com algum fenômeno. Isso me permite ratificar conforme os autores que a visão de átomo é sólida e realista, logo, palpável. Não uma representação de um modelo construído cientificamente com limitações, consoante o fenômeno estudado.

É salutar o uso de analogias no ensino de química, sobretudo, de modelos atômicos por terem o potencial de promover a compreensão conceitual. Apesar de a criação, o destaque da importância da crítica e sua reformulação a fim de garantir o sucesso dessa abordagem de ensino.

Da mesma forma, em E2 e E9 quando associam às ligações químicas e a formação dos íons, respectivamente. França, Marcondes e Carmo (2009) argumentaram que as relações dos modelos atômicos enquanto representação da estrutura da matéria, de suas propriedades e comportamentos são apresentados de maneira confusa em seu estudo com

estudantes do 3º ano do ensino médio de escolas públicas, com idades entre 17 e 21 anos. Com isso, “o ensino parece não estar contribuindo para que os alunos reorganizem suas representações do mundo físico a partir de conhecimentos da ciência” (FRANÇA; MARCONDES; CARMO, 2009, p. 282).

Em E4, tem-se a relação Inter conversível de átomo em energia mostra o entendimento posto por Einstein na teoria da relatividade geral por meio do efeito fotoelétrico, que se faz presente nos postulados do modelo atômico de Böhr. Isso permite inferir que esses resultados parecem também transitar em um modo de pensar clássico e quântico para o perfil conceitual de átomo.

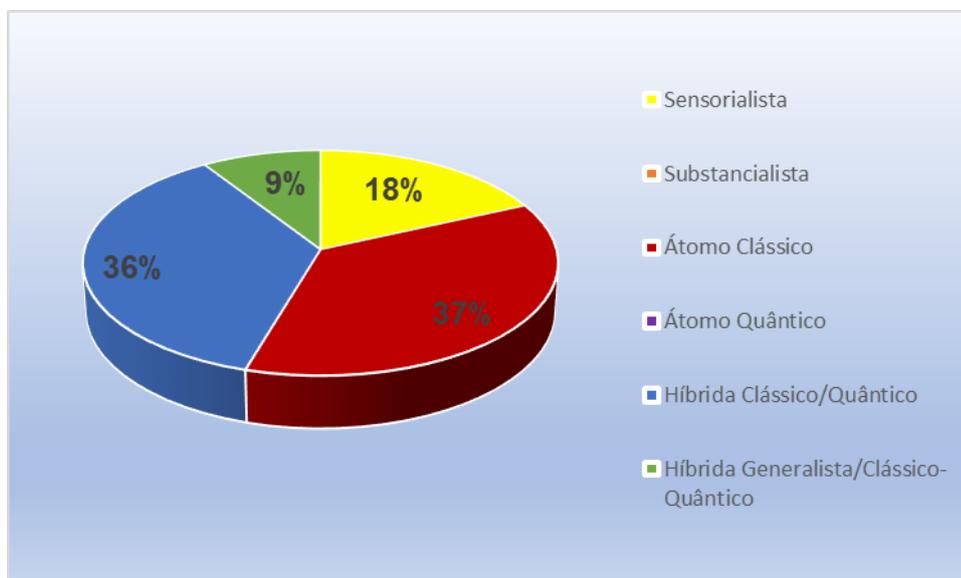
Porém, ao expressar “[...] o átomo é a menor representatividade de energia [...] Modelos atômicos entendendo por diferentes tipos de átomos” (E4), encontro elementos de uma visão generalista, semelhante ao defendido no perfil conceitual de substância (SILVA; AMARAL, 2013) sobre a relação do conceito átomo um sistema de conhecimento pertencente ao de energia e os modelos atômicos como sendo um maior que o de átomos, onde neste último admitiria se fosse referido às moléculas ou substâncias.

É possível que essa aproximação generalista possa ser melhor entendida com o debate da controvérsia histórico-epistemológica no século XIX do atomismo químico, fortemente vinculado às leis de combinações químicas, aos pesos atômicos determinados e às proposições teóricas que explicavam a existência dos átomos e moléculas; os químicos franceses preferiam utilizar os pesos equivalentes para justificar a combinação dos pesos relativos das substâncias, admitindo fragilidades no átomo de Dalton (PEREIRA; SILVA, 2018).

Isso levou a duas visões conflitantes com implicações filosóficas no realismo e convencionalismo. Aspecto defendido enquanto crítica por Auguste Comte como um artifício da linguagem, trocar o átomo por equivalente, pois ambos apresentavam o corpularismo presente ao falar da constituição dos compostos químicos (OKI, 2009).

O gráfico 6 abaixo mostra uma síntese da ocorrência de zonas do perfil conceitual de átomo quando estudantes falam o que entendem sobre o conceito, como discutido acima, incluindo a possibilidade de coexistência de ideias híbridas.

**Gráfico 6:** Zonas do perfil conceitual de átomo sobre o entendimento de estudantes do conceito átomo/modelos atômicos.



Fonte: autoria (2022).

Em seguida, solicitou-se a representação da compreensão deles sobre o átomo e os modelos atômicos. Mas, somente oito deles anexaram a imagem. Desses dois colocaram imagens da web e um, acredito que por equívoco, adicionou um vídeo do YouTube aleatório. Parece razoável pensar que a questão indicar anexar a imagem, esses dois retirados da web compreenderam como o fizeram e não a produzi-la.

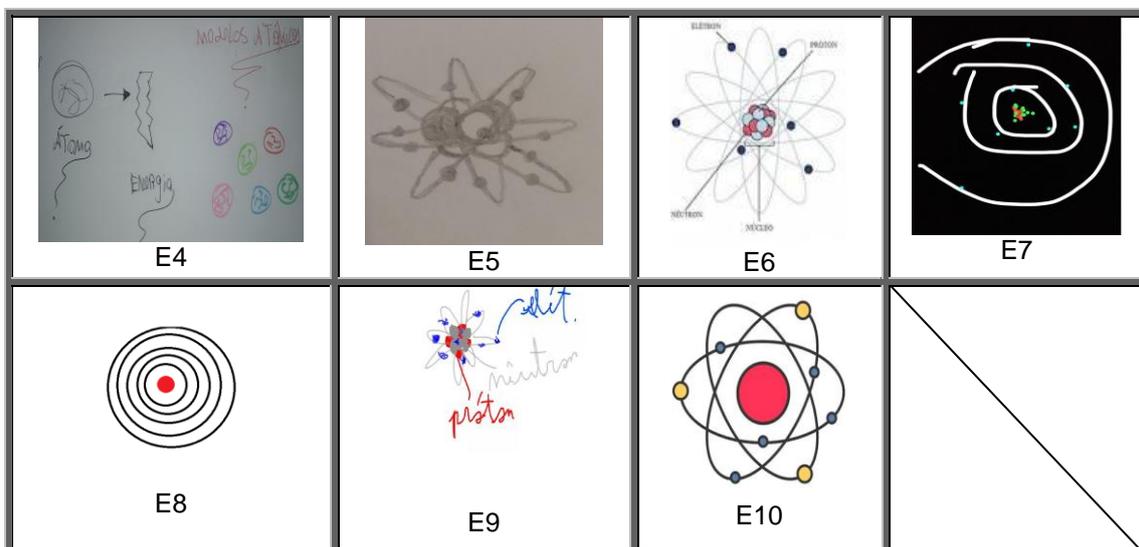
Todos destacam a visão de átomo/modelos atômicos como representação de modelos escolares sobre o átomo de Thomson, Rutherford, Böhr e Sommerfeld, como pode ser visto na imagem abaixo.

Aspecto que foi debatido por França, Marcondes e Carmo (2009) sobre esses modelos construídos na cultura escolar para o átomo serem centrados somente naquilo apresentados pelos livros didáticos e sem a devida problematização e mediação do professor sobre a suas limitações ao relacionar aos fenômenos levando em consideração a história da ciência.

E aqueles que não, é possível inferir algum tipo de dificuldade em materializar a compreensão verbal escrita em imagética (GALIAZZI *et al.*, 1997). Uma vez que a maioria dos estudantes apontaram visões científicas do

conceito (**quadro 14**), semelhante ao apresentado nos resultados da questão anterior.

**Quadro 14:** Representações sobre o entendimento do conceito átomo/modelos atômicos.



Fonte: autoria (2022).

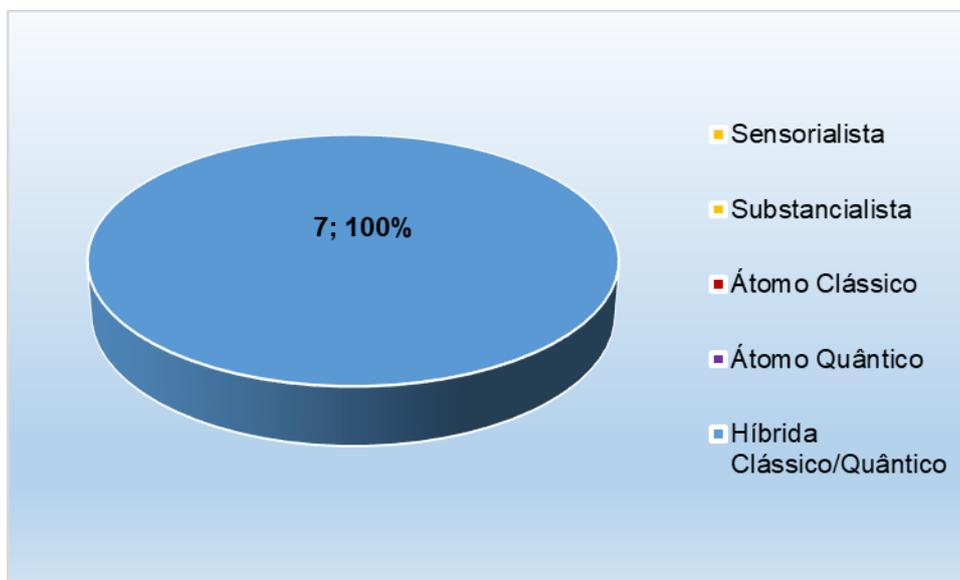
Ao buscar aproximações com as zonas do perfil conceitual de átomo, a representação vinculada aos modelos atômicos elaborados na história da ciência mesmo sendo modos de pensar o conceito, não há uma zona daquelas propostas por Mortimer (2000) que estabeleça relações com essas imagens anteriores ao desenvolvimento do quântico e posterior ao de Dalton, por se evidenciarem com uma estrutura pictórica, outras partículas e uma dinâmica específica ligada às categorias determinista, particulada, mecanicista e corpuscular desse perfil.

Semelhantemente foi identificado no estudo de Silva e Amaral (2020) como concepções que transitam a zona de átomo clássica e quântica, por enquanto adotei como zona híbrida clássico/quântico.

Outro aspecto interessante é perceber como difere em sua grande maioria a visão de como entendem o átomo/modelos atômicos quando solicitados na linguagem verbal escrita dos estudantes e imagética nos resultados dessa questão; naquele se evidencia modos de pensar da zona de átomo clássico, como sendo apenas a partícula fundamental da matéria, e nessa mostraram outras partículas para o átomo, considerando outras

elaborações teóricas para o conceito e que transitam entre os modos de pensar o átomo clássico e o quântico, visualizado no gráfico 7.

**Gráfico 7:** Zonas do perfil conceitual de átomo nas representações do entendimento de estudantes sobre o conceito átomo/modelos atômicos.



Fonte: autoria (2022).

Do exposto, faz-se necessário observar as relações das zonas do perfil de átomo com os modelos atômicos, visto que para a teoria do perfil conceitual a aprendizagem se dá quando o estudante enriquece o pensamento conceitual e toma consciência da demarcação dele em contextos específicos em que são usados, como no ambiente educacional.

Quando aproximamos da discussão do atomismo científico explicitado no tópico anterior, é possível situar compromissos epistemológicos e ontológicos com o desenvolvimento das ideias dos modelos atômicos posterior ao Dalton e anterior ao quântico, como apresentado na tese de Lopes (2009), sobre o desenvolvimento das teorias atômicas entre o século XIX e XX.

Achados semelhantes foram observados em concepções de estudantes nos trabalhos de Santana, Sarmiento e Wartha (2011), Galiazzi *et al.* (1997), e Silva e Amaral (2020).

Acreditamos que estabelecer os modos de pensar as teorias atômicas com as zonas do PCA, possivelmente, contribui no planejamento e nas vivências do processo de ensino e aprendizagem baseado nos perfis

conceituais enquanto heterogeneidade do pensamento e da fala presentes na cultura da ciência escolar.

No quadro 15, apresento as respostas da primeira questão dadas pelos 11 estudantes quando explicam a composição química dos materiais. Sobre elas, têm-se diversas maneiras de pensar: tipos de átomos diferenciados pela quantidade de prótons; pela união das partículas fundamentais (prótons, elétrons e nêutrons) formando o átomo; pela presença de substâncias, elementos e misturas; pela união de átomos diferentes formando as moléculas compostas e de um mesmo tipo de átomo formando as substâncias simples; por moléculas sendo substâncias resultantes da eletronegatividade de átomos unidos entre si ou somente átomos; pela presença de prótons, elétrons e nêutrons; e pela união de partículas.

**Quadro 15:** Concepções dos estudantes ao explicar a composição química dos materiais.

<b>Estudantes</b>	<b>Concepções</b>
E1	Existem diversos átomos diferentes entre si. Essa diferença se dá ao fato de cada um deles possuírem distintas quantidades de prótons. É justamente essa diferença no número de prótons (tecnicamente conhecida como número atômico) que existem átomos de diferentes materiais químicos, como, por exemplo, um átomo de ferro e um de magnésio.
E2	Não sei bem. Então vou escrever o que eu acho que é. A união das químicas, que seriam: os prótons, elétrons e nêutron que unidos formam o átomo.
E3	Não faço a mínima ideia.
E4	Substância e misturas.
E5	Formações diferentes de átomos formam materiais diferentes.
E6	Não sei.
E7	Átomos (A) se ligam a átomos (B) para formar outras moléculas compostas, e um glomerado de átomos (A) formam moléculas de uma substância simples.
E8	Acho que está relacionado em como é composto os materiais, quais elementos e substâncias presentes no material.
E9	Materiais são compostos de moléculas, que podem ser substâncias (átomos unidos entre si por questões de eletronegatividade) ou meramente átomos (como boa parte dos metais).
E10	Prótons, nêutrons e elétrons.
E11	Uma junção de partículas.

Fonte: autoria (2022).

Fica claro que não há um pensamento conceitual exclusivo para falar sobre a composição química dos materiais. Possivelmente, pelos amplos sistemas de conhecimentos construídos historicamente os quais expressam as ideias de que são feitos os materiais e pelas experiências escolares dos sujeitos.

Essas diferenças presentes, são evidentes em E7 e E9, também por fazer parte da maneira como os cientistas criaram na história da química as entidades químicas substâncias, elementos, moléculas, átomos e outros, organizando-as em sistemas de conhecimentos hierarquizados para explicar a classificação da constituição da matéria.

Considerando o PCA, ao explicitarem propriedades e processos atômico-moleculares para falar de substâncias e combinações químicas, por exemplo, é possível aproximar a maneira como eles e E5 organizaram os seus modos de pensar a composição dos materiais da zona de átomo clássico.

Embora, ao falar da eletronegatividade enquanto propriedade atômica das partículas elétricas, E9 e E10 dar indícios de uma visão transitando a zona de átomo clássico e quântico; e, invertida quando atribui a matéria constituição de moléculas e, por conseguinte, substâncias. O que considero erro conceitual. Isso foi destacado no estudo de Santana, Sarmiento e Wartha (2011). Da mesma forma, E1 por mencionar o número de prótons ao falar dos átomos como característica que os diferenciam.

E4, E8, E10 e E11 respondem de maneira intuitiva e/ou reprodutiva. Isso é provável devido não se ter especificado na pergunta o contexto.

No PCA consideramos ser ideias E4 e E8 da zona sensorialista por trazer semelhante à falta de consenso na teoria atômica e o uso de conceitos distintos de outros ou mesmo sua negação. E assumir aspectos de ontologia material, compromisso bastante presente no atomismo e antiatomismo filosófico e científico, exceto na visão quântica, como apresentado no tópico anterior deste capítulo.

Além disso, embora E2 inicia não sabendo dizer, tem-se novamente um hibridismo quando traz a visão generalista ao escrever “união das químicas” e em sequência associar esse processo aos prótons, elétrons e nêutrons unidos para formarem o átomo, o que me remete a uma visão transitória da ciência

clássica para a quântica, e, ao mesmo tempo, distorcida da estrutura dos modelos atômicos particulados quando se considera ser químicas unidas.

Observamos que na prática pedagógica este termo é comumente utilizado para se referir aos produtos químicos ou a própria ciência química. E, nesse caso, expressar uma visão científica envolvendo a formação da estrutura do átomo particulado, a qual transita entre a noção clássica e quântica da matéria.

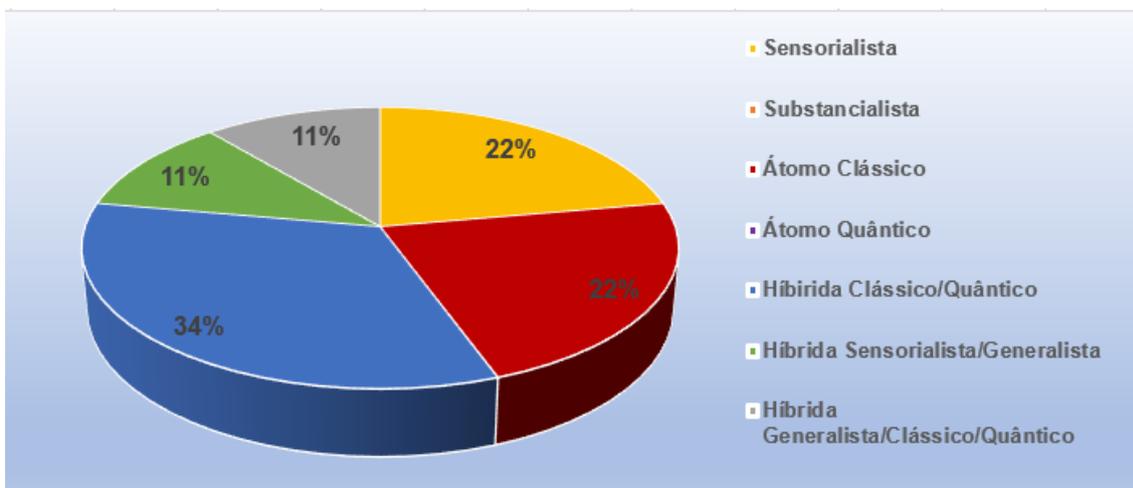
Da mesma forma, E11 traz a visão generalista na constituição como “junção de partículas”, sem direcionar a visão conceitual específica para esse processo de composição dos materiais, seja por molécula, substância, elemento, átomo e/ou outras. Aspecto bem presentes na discussão dos paradigmas do atomismo e antiatomismo filosófico e científico.

Por fim, somente E3 e E6 reconheceram não conseguir responder. Isso me traz preocupação quando penso a maneira em que ocorrem os processos de ensino e aprendizagem de ciências naturais ao longo do desenvolvimento escolar na educação básica, consoante o gráfico 2, os estudantes cursam da 9ª série do ensino fundamental até a 2ª série do ensino médio. Pois, estudam o componente curricular ciências desde o 1º ano do ensino fundamental e química para aqueles que estão na 1ª e 2ª séries do ensino médio.

É possível apontar sobre esse dado do parágrafo anterior como dificuldades de ensino e aprendizagem da educação básica pública municipal, estadual e federal, quer sejam relacionados aos recursos humanos qualificados e de materiais, à infraestrutura, à gestão e/ou à coordenação pedagógica a nível escolar ou em rede, agravados com o contexto da educação brasileira na pandemia de covid-19.

No gráfico 8, mostra-se as zonas perfil conceitual de átomo que se vinculam ao contexto da composição química dos materiais. Três zonas emergem além daquelas para o PCA, a saber: a híbrida sensorialista/generalista, a híbrida clássico/quântico e a híbrida generalista/clássico/quântico.

**Gráfico 8:** Zonas do perfil conceitual de átomo ao explicar a composição química dos materiais.

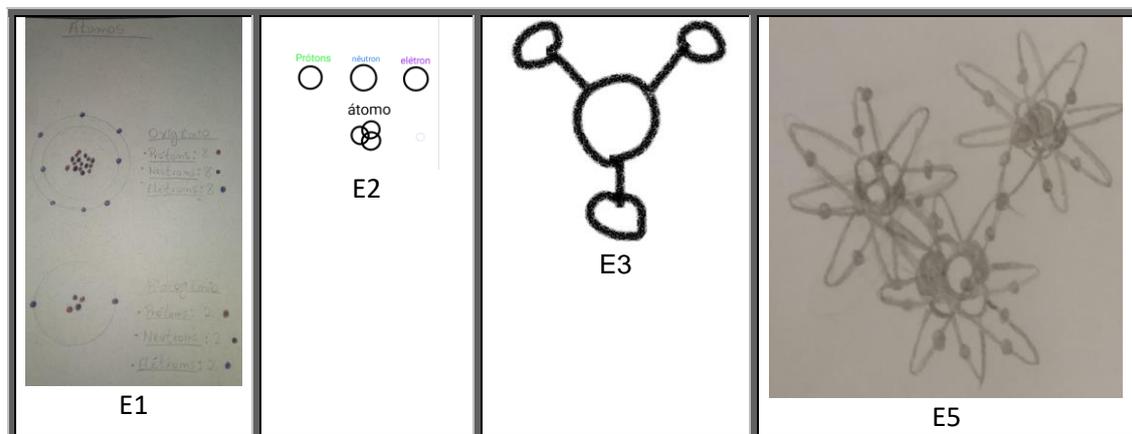


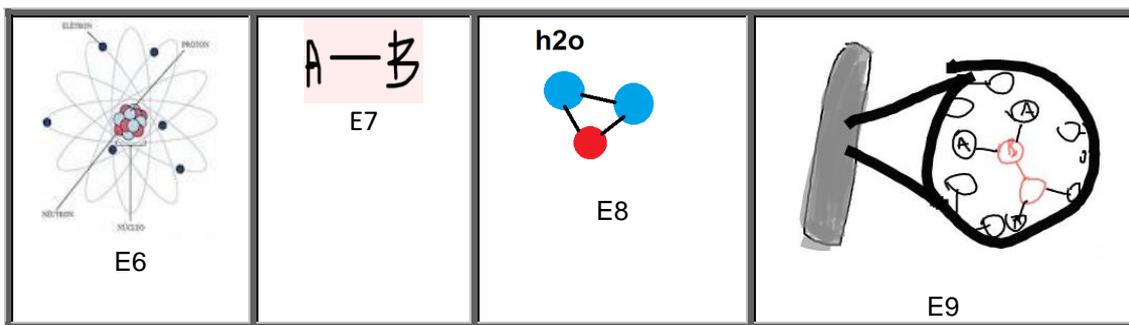
Fonte: autoria (2022).

A composição química dos materiais é um dos focos centrais do estudo da matéria e no ensino de química a aprendizagem em ciências sobre a estrutura da matéria ainda é confusa e intuitiva por ser vinculada à realidade, como expressos no gráfico acima.

Por isso, defendemos os usos da linguagem científica que permeiam o pensamento quando se fala dos materiais não substituir as ideias que significam e trazem sentido a cultura cotidiana, mas integrar aos processos e conceitos científicos enquanto formas de pensar o conceito-contexto ligado a um sistema de conhecimentos com novos significados, também da cultura científica.

**Quadro 16:** Representações sobre a composição química dos materiais.





Fonte: autoria (2022).

Nas oito representações químicas sobre a composição dos materiais, no quadro 16, expressa-se relações com a ideia de átomo, de forma direta ou indireta. Foram 10 anexos, contudo dois deles não exprimiam o foco da questão.

E4 anexou uma imagem que retrata trechos de conteúdos sobre misturas, provavelmente, de seu caderno de química. E, E10 anexou um print de um vídeo. Acredito que foi algum erro de troca de arquivo na memória do aparelho móvel.

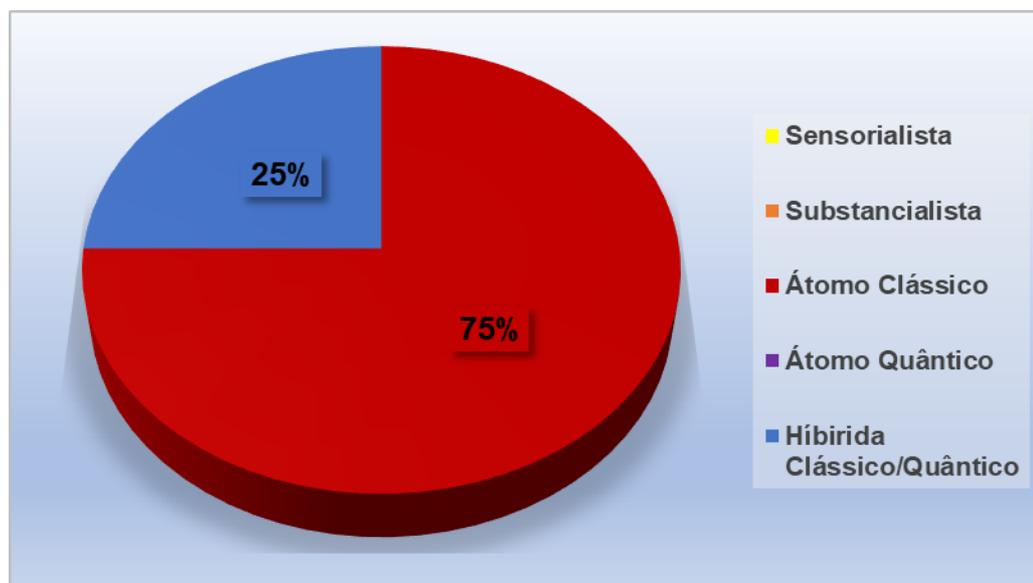
E1, E5 e E6 trazem modelos atômicos semelhantes ao de Böhr e Sommerfeld. Isso permite aproximar de um hibridismo de zonas do PCA do clássico ao quântico cujas visões do átomo são: particulado, mecanicista, determinado, imagético e corpularista. Além disso, E5 parece mostrar interações entre as regiões eletrônicas do átomo, como uma espécie de ligação química.

E2, E3, E8 e E9 apresentam modelos de estruturas moleculares resultante das interações ou arranjo entre os átomos (bolinhas), diferenciando-as por letras maiúsculas A e B, como visto em E9. Isso aproxima da zona de átomo clássico.

E7 traz uma convenção didática simbólica, muito utilizada em aulas de química ou livros didáticos, que remete a ligação entre dois átomos diferentes por meio de letras maiúsculas A e B unidos pelo traço. O que poderia considerar aproximações também com a zona de átomo clássico.

O gráfico 9 abaixo apresenta as zonas do PCA presentes nas imagens sobre a composição química dos materiais.

**Gráfico 9:** Zonas do perfil conceitual de átomo nas representações de estudantes sobre a composição química dos materiais.



Fonte: autoria (2022).

Do gráfico 9, é possível perceber diferenças entre a linguagem verbal e não verbal para falar sobre a composição química dos materiais. Fica claro que os estudantes encontraram maior possibilidades para falar do perguntado, por meio de imagens, vinculadas às zonas científicas. Ainda que na evidência do hibridismo, pois é possível considerá-lo por envolver aspectos do desenvolvimento histórico científico do atomismo no século XX.

No quadro 17, tem-se as respostas dadas pelos estudantes sobre a continuidade ou descontinuidade da matéria. Aspecto fundante quando estudamos as teorias atômicas, por vincular compromissos epistemológicos distintos sobre a aceitação ou não da hipótese atômica.

**Quadro 17:** Concepções dos estudantes sobre a (des) continuidade da matéria.

Estudantes	Concepções
E1	Descontínua, afinal ela é divisível.
E2	Contínua. Nunca interrompida.
E3	Contínua.
E4	Não compreendi.
E5	Eu diria que a matéria tem energia contínua, por causa da transição de elétrons, mas eu não sei exatamente se esse é o sentido da pergunta.

E6	Não sei.
E7	A matéria é descontínua por que tem um espaço entro os elétrons e o núcleo.
E8	Descontínua.
E9	Não de forma plena, já que no próprio átomo existem espaços vazios entre o núcleo e os elétrons, conquanto esses espaços não sejam muito significantes num sentido prático.
E10	Descontínua.
E11	Descontínua.

Fonte: autoria (2022).

Observa-se nas respostas dadas que E4 não consegue compreender a palavra contínua ou descontínua. Enquanto E6 não sabe.

Aspecto importante considerar na análise por eles terem experiências escolares que, provavelmente, não foi explorado nenhum sentido ou significado do conceito (des) contínuo no ensino de atomística.

Dito isto, é preciso ressaltar que não se compreende visões científicas do modelo atômico, sem a compreensão desse aspecto aqui questionado. O que vai dando sentido na análise feita, comparando com outras respostas dadas em questões anteriores, sobre o PCA desses estudantes.

Seis dos respondentes consideraram descontínua, sendo eles: E1, E7, E8, E9, E10 e E11. Isso me permite aproximar da zona de átomo clássico, já que a aceitação da teoria atômica, por si só, envolve o entendimento descontínuo da matéria, com a divisibilidade, por exemplo, como pontua E1.

Contudo, E7 e E9 apresentam a ideia descontínua relacionando o vazio entre o núcleo e o elétron. Semelhante a proposição do átomo de Rutherford cujo compromisso epistemológico transita o paradigma atomístico clássico e quântico. Resultando na presença de um hibridismo de zonas.

E2, E3 e E5 falam sobre a continuidade. Só que somente naqueles dois primeiros, pode-se aproximar da zona sensorialista do PCA, pois a negação do átomo na matéria passa pela aceitação da continuidade, presente nas ideias do antiatomismo filosófico.

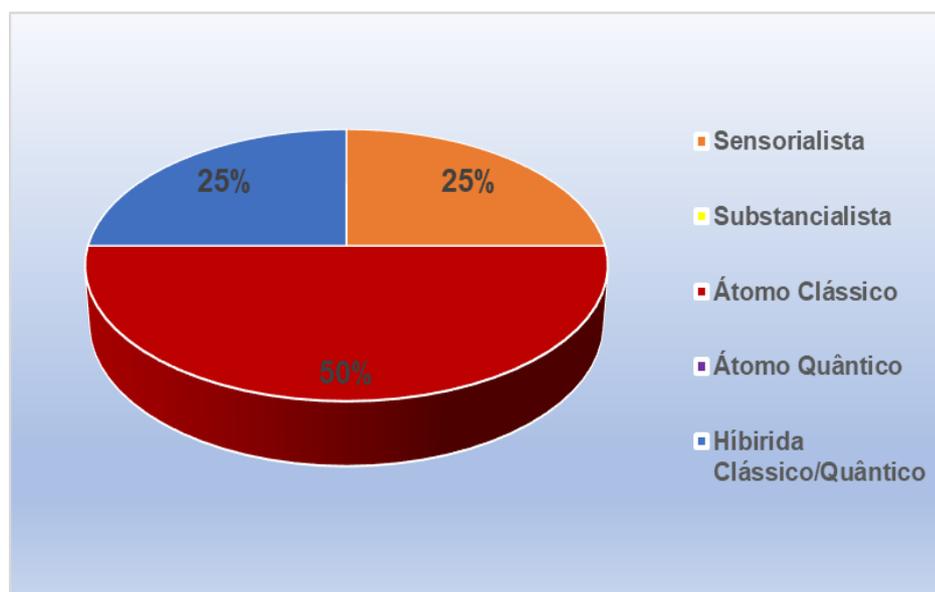
Em E5, tem-se a relação da matéria pela defesa da energia contínua. E isso encontra bojo na história da ciência do século XIX, onde a resistência a teoria atômica de Dalton passou pelo antiatomismo científico defendido pelo energicentistas, como argumentaram Oki (2009) e, Pereira e Silva (2018) sobre as controvérsias da teoria atômica.

Uma vez que o positivismo lógico permeou esse episódio na história devido ao forte compromisso epistemológico dos cientistas com o método empirismo lógico, isto é, as teorias precisavam ser validadas pela experiência.

Quando usamos as zonas do PCA não encontramos vínculo com a visão sensorialista, pois o compromisso epistemológico era unicamente empirista. Dessa forma, é possível perceber a necessidade de enquadrar também essa nova forma de falar o conceito átomo que enquadre esse compromisso planeado pelo desenvolvimento histórico dele.

A emergência de zonas para essa questão foi sistematizada no gráfico 10, com base na análise realizada acima.

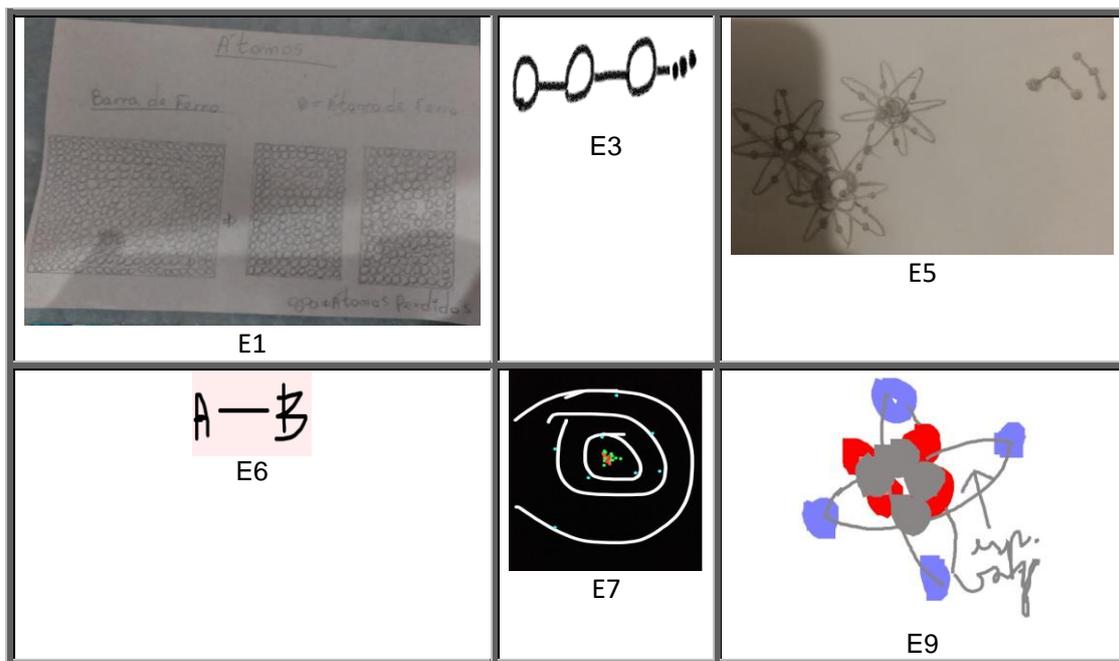
**Gráfico 10:** Zonas do perfil conceitual de átomo nas concepções de estudantes sobre a matéria ser contínua ou descontínua.



Fonte: autoria (2022).

No quadro 18 são apresentadas as representações sobre a (des) continuidade da matéria.

**Quadro 18:** Representações sobre a continuidade e a descontinuidade da matéria.

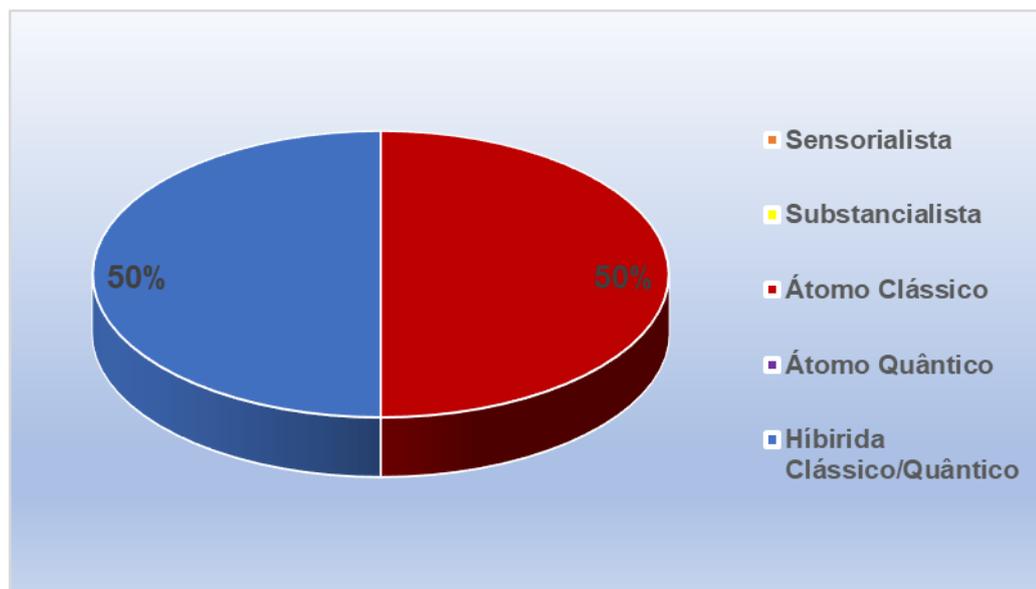


Fonte: autoria (2022).

Nove estudantes enviaram o anexo. Mas, três deles não foram possíveis de analisar porque E2 anexou uma imagem com texto falando sobre a matéria contínua, E4 pôs a representação que parecia não entender com interrogações e E8 colocou o arquivo em branco.

Todos os estudantes, do quadro 17, apresentaram visões descontínuas sobre a matéria. E1, E3 e E6 se aproximam da zona de átomo clássico por reproduzirem os átomos no formato de bolinhas; enquanto E5, E7 e E9 produziram modelos para o átomo parecidos com os de Böhr e Sommerfeld. Isso permite visualizar o hibridismo de zonas que transitam entre a visão clássica e quântica, como mostrar o gráfico 11.

**Gráfico 11:** Zonas do perfil conceitual de átomo nas representações sobre a continuidade e descontinuidade da matéria.



Fonte: autoria (2022).

O quadro 19, a seguir, apresenta as respostas dadas pelos sujeitos a respeito da maneira que os átomos se organizavam para formar os materiais.

**Quadro 19:** Concepções dos estudantes sobre de que forma os átomos se organizam para formar os materiais.

Estudantes	Concepções
E1	Os átomos tendem a se juntar.
E2	Não sei.
E3	Ligados entre si através de ligações químicas formando uma molécula
E4	Os átomos podem se ligar de três formas: ligação covalente, ligação iônica e ligação metálica. Na ligação covalente, os átomos compartilham elétrons, fazendo com que ambos possuam 8 ou 2 elétrons na última camada, conhecida como camada de valência. Na ligação iônica um átomo libera um elétron, ficando com carga positiva, e o outro recebe o elétron, ficando com carga negativa. Por ambos estarem com cargas opostas, eles se atraem. Na ligação metálica os elétrons da última camada se desprendem e ficam rodeando os átomos, em uma região conhecida como "mar de elétrons".
E5	Massa e número Atômico.
E6	Eles se ligam através dos elétrons que transitam de um átomo para o outro.
E7	Normalmente eles se organizam se juntando a outros do mesmo elemento ou de elementos diferentes, formando as chamadas substâncias, por conta de suas tendências quanto à carga (creio que seja outro motivo, não sei responder exatamente a razão nesse momento kkkk), se unindo por meio

	de ligações entre si, embora haja alguns que não precisem fazer isso, como os metais, que não necessariamente se unem com elementos diferentes entre si, e os átomos se unem para formar os materiais por meio dos elétrons livres que circulam pelo meio, que proporcionam certa atração no meio.
E8	Não sei.
E9	Se orbitando.
E10	Se organizam se ligando uns aos outros para formar materiais simples ou compostos como já tinha falado na questão do átomo A e B.
E11	Tipo os cavalos quando giram em torno do carrossel.

Fonte: autoria (2022).

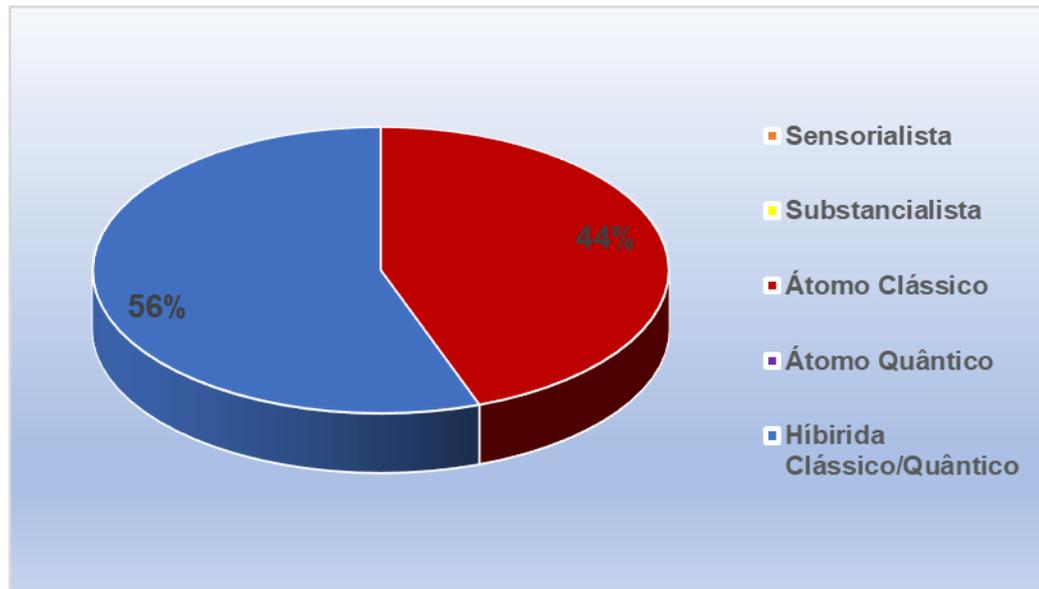
Dos 11 estudantes, dois não sabem responder, o E2 e o E8. O restante de uma maneira direta e explícita ou indireta através de analogia explicitam o modo ser pelas ligações químicas.

E1, E3, E10 e E11 apontaram visões sobre esse processo na perspectiva do atomismo científico clássico, por meio da combinação de átomos para formar moléculas, substâncias simples ou composta. No PCA próximo da zona de átomo clássico.

Já E4, E5, E6, E7 e E9 trouxeram elementos constitutivos de modos de pensar o atomismo científico transitando a mudança de mundo clássico para o quântico, quando discorreram sobre ocorrer entre os elétrons em movimento, formação de cargas, valência, forças de atração, número atômico, massa, noção de órbitas e outros ligados aos modelos atômicos de Rutherford, Böhr, Nicholson e Sommerfeld.

Os aspectos anteriormente descritos, permite-nos aproximar do hibridismo entre a zona clássica e quântica. O gráfico 12 mostra a emergência dessas zonas presentes no conjunto de respostas acima.

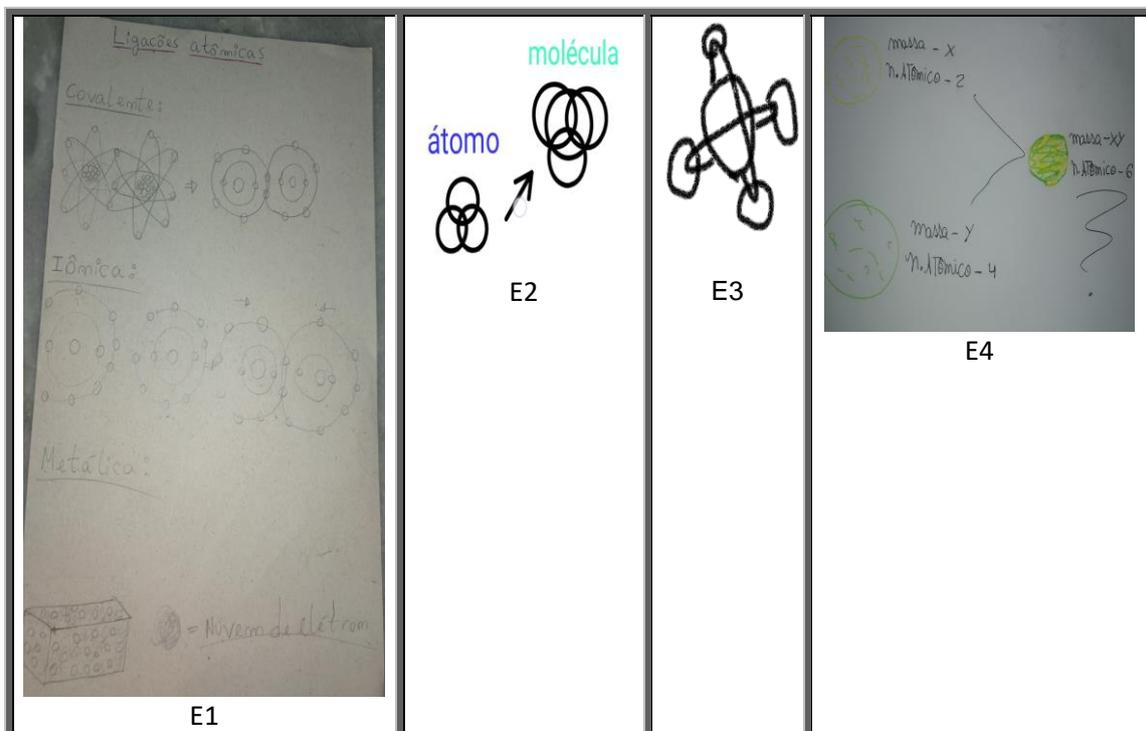
**Gráfico 12:** Zonas do perfil conceitual de átomo nas concepções de estudantes sobre o modo como os átomos se organizam para formar a matéria.

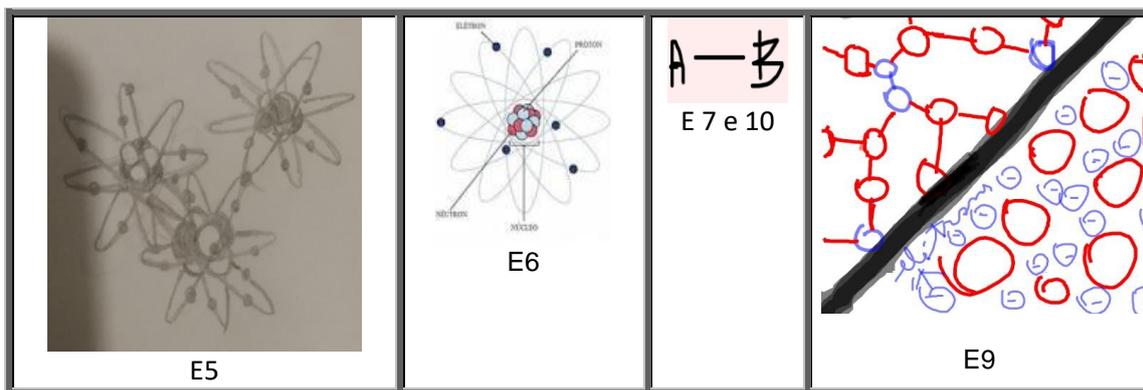


Fonte: autoria (2022).

No quadro 20, mostra-se imagens anexadas pelos sujeitos ao serem solicitados representarem a organização dos átomos na formação dos materiais.

**Quadro 20:** Representações sobre a organização dos átomos na formação dos materiais.





Fonte: autoria (2022).

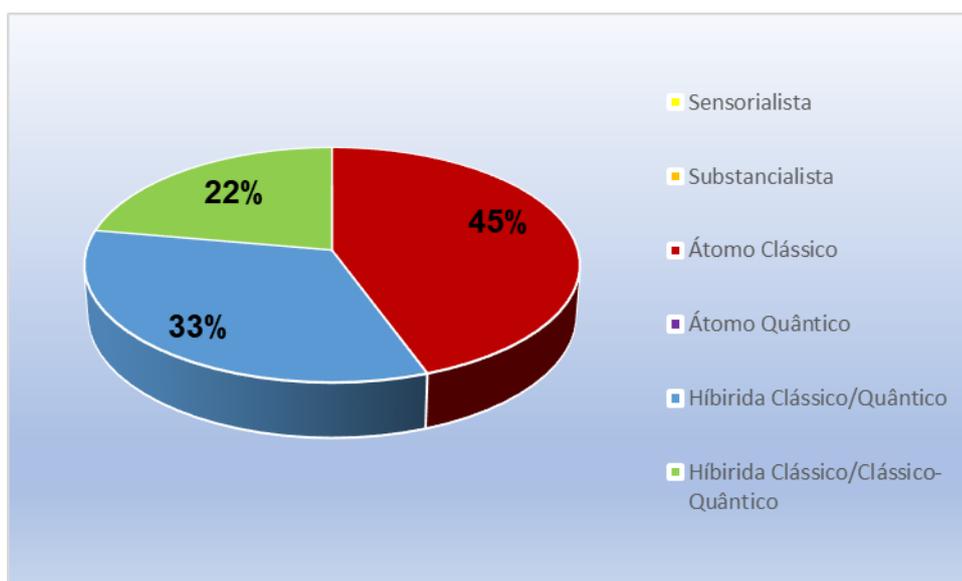
Dos dez sujeitos que fizeram, apenas E8 anexou a imagem em branco. Os outros restantes continuam trazendo em suas representações visões científicas para o átomo. Evidenciando aspectos teóricos das ligações químicas permeando estruturas atômicas ligadas aos modelos atômicos de Dalton, Thomson, Rutherford, Böhr e Sommerfeld.

E2, E3, E7 e E10 se vinculam ao compromisso epistemológico corpuscular (forma de bolinhas) de arranjo de átomos da zona de átomo clássico. Enquanto E4, E5 e E6 por apresentarem o átomo particulado, dividido em regiões, constituídos de subpartículas carregadas eletronicamente, aproximado de uma zona híbrida que transita entre a noção clássica e quântica.

Por outro lado, E1 e E9 evidenciam hibridismo de uma zona de átomo clássico com aquela que transita entre a visão clássica e quântica. Em E1 se mostra a ligação metálica nas duas representações inferiores em que as aproximado do modelo atômico de Dalton e Rutherford, nessa ordem, da esquerda para a direita. E, em E9, do de Dalton e de Thomson.

A emergência de zonas do PCA nessa questão é mostrada a seguir no gráfico 13.

**Gráfico 13:** Zonas do perfil conceitual de átomo nas representações de estudantes sobre o modo como os átomos se organizam para formar a matéria.



Fonte: autoria (2022).

### 3.1.3- Concepções sobre a composição química dos fogos de artifício e o efeito das cores na queima

No quadro 21 foram expostas respostas dos estudantes sobre a composição química dos fogos de artifício.

**Quadro 21:** Concepções dos estudantes sobre a composição química dos fogos de artifício.

Estudantes	Concepções
E1	A composição química ao certo não sei, mas os fogos de artifício possuem pólvora que é um fator principal para a "explosão"
E2	Ela é composta por nitrato de potássio, enxofre e carvão.
E3	Enxofre, potássio e carvão.
E4	Não sei.
E5	Fosfato, hidrogênio e não sei...
E6	Eu acho que de pólvora e alguns materiais que deem cor, não sei ao certo.
E7	Não sei exatamente qual seria a substância dos fogos na sua composição, porém no tocante à queima, imagino que seja a pólvora e outros materiais inflamáveis.
E8	Só sei que tem pólvora.
E9	Não sei.
E10	Pólvora?
E11	Pólvora.

Fonte: autoria (2022).

Dos 11 respondentes, 2 não sabem responder, E4 e E9. Dois também iniciam não saber, o E1 e o E7, mas, em seguida, apontam para a pólvora. Assim como, três deles, E6, E8 e E11. E10 aponta sê-la com dúvida. Enquanto E2, E3 e E5 indicam outros componentes presentes na produção do fogo artificial ao longo da história (VASCONCELOS; SILVA; ALMEIDA, 2010).

Como era esperado para esse momento da questão, as respostas estivessem incertas, voltadas a um ou outro componente do fogo artificial. O que no PCA permeiam a zona sensorialista.

Já no quadro 22, têm-se respostas sobre o efeito das cores no processo de queima a partir do conceito átomo/modelos atômicos.

**Quadro 22:** Concepções dos estudantes sobre o efeito das cores na queima dos fogos de artifício através da ideia de átomo/modelos atômicos.

<b>Estudantes</b>	<b>Concepções</b>
E1	Não sei responder.
E2	Não sei.
E3	Com a união dos materiais de explosão, adicionam as cores, que dá a beleza deles.
E4	Cada material químico produz uma chama de cor distinta dos demais, pois a cor do fogo depende da frequência da onda eletromagnética liberada quando o elétron retorna para sua camada de origem. Quanto maior for a frequência, mais para o azul a cor da chama estará.
E5	Organolépticas - bom, a partir da interação de substâncias.
E6	Mistura de algum corante com pólvora que der cor quando é afetado pela combustão.
E7	Certamente por conta de reações entre as substâncias, que ocorrem no meio dos fogos.
E8	Não sei descrever exatamente como são essas reações.
E9	Não sei.
E10	Não sei também.
E11	Cada substância tem uma "cor" então a queima dos fogos de artifício pode ser a queima de várias substâncias.

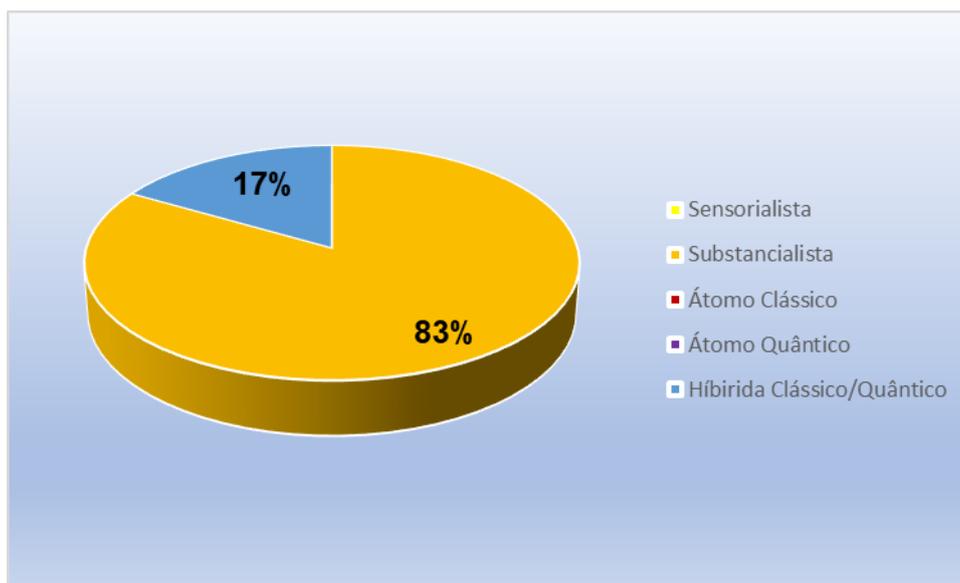
Fonte: autoria (2022).

Do exposto, no gráfico 14, observa-se que cinco de onze respostas, vinculam-se no PCA a zona substancialista por não fazer nenhum tipo de menção ao átomo, ficando o discurso ligado à experiência primeira, atribuído às substâncias, semelhante ao estudo de Melo e Lima Neto (2013).

E, somente em E3 se mostra o valor da pragmática estética cuja filosofia estarei ancorando em John Dewey, pois ele admite as fissuras da intelectualidade na natureza instrumental do pensamento quantitativo quando se separa das práticas as belezas, cuja experiência intuitiva transcende o objeto estudado, sem se desvincular dele. Dessa forma, a pragmática aqui definida é definida de percepção estética da matéria, imbuída de caráter social e político (FALCÃO, 2013)

E4 apresentou uma visão que transita a zona clássica e quântica, aqui denominado de hibridismo entre o átomo clássico e o quântico. Por fim, cinco não souberam responder.

**Gráfico 14:** Zonas do perfil conceitual de átomo nas concepções de estudantes sobre o efeito de cores na queima dos fogos de artifício através do conceito átomo/modelos atômicos.



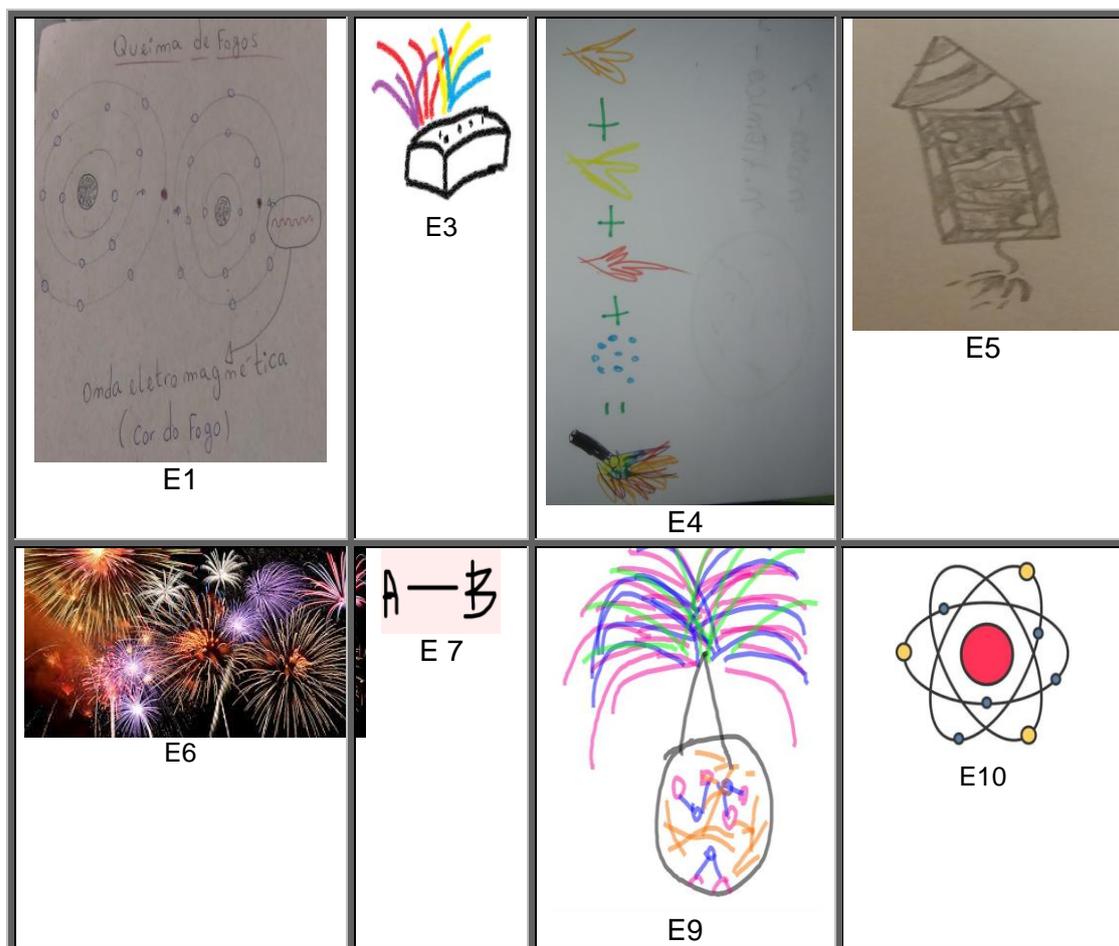
Fonte: autoria (2022).

No quadro 23 se apresentou as representações dadas pelos estudantes sobre o efeito das cores na queima dos fogos de artifício. Dos 11 respondentes, E2 anexou imagem com texto explicando como se forma as cores dos fogos e E8 colocou uma imagem em branco. O que não se adequa ao objetivo da questão.

Dos oito estudantes abaixo, tem-se somente em E1, E7 e E10 visões científicas sobre o processo. Não obstante, apenas aquele primeiro e terceiro

se referem ao modelo atômico que explicita o efeito das cores (FREITAS, 2012), sendo o de Böhr e o de Sommerfeld. Já o segundo se aproxima ao modelo de Dalton de ligação e não explicita a lógica das linhas espectrais.

**Quadro 23:** Representações sobre a produção do efeito de cores na queima dos fogos de artifício.



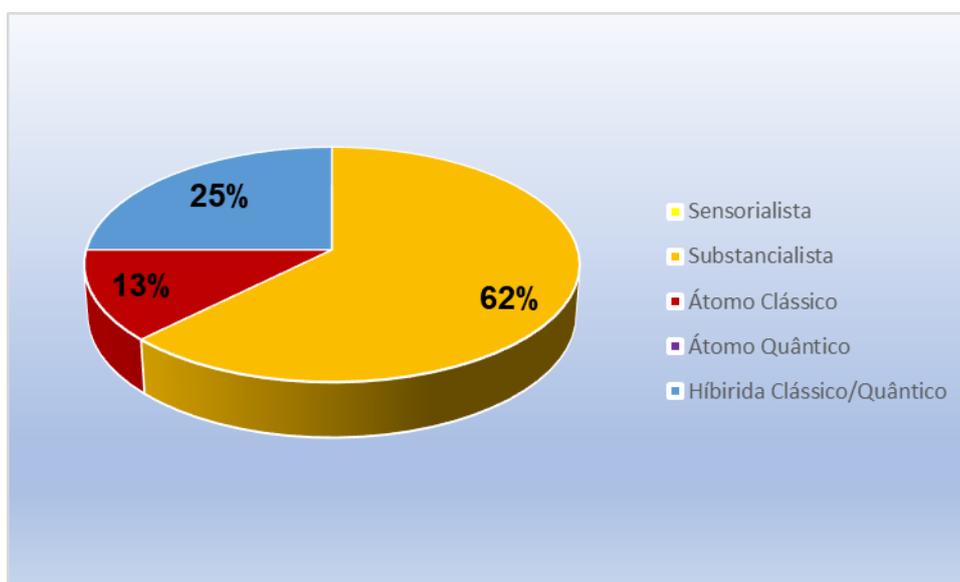
Fonte: autoria (2022).

E3, E4, E5, E6 e E9 atribuem ao material que o compõe o efeito das cores, o que no PCA se aproxima da zona substancialista. A emergência das zonas a que pertencem as respostas nessa questão apresentada estão no gráfico 15.

É interessante perceber também que comparando a pergunta anterior, seguindo a lógica das outras questões que sempre solicitava a resposta em texto escrito e em imagens, não houve mudanças no perfil conceitual dos estudantes.

Por outro lado, nas outras respostas analisadas é bem significativa na linguagem imagética a emergência de zonas científicas a mais ou tão somente. Isso, talvez, pode ser explicado pelas experiências escolares no estudo de fenômenos como o da queima dos fogos de artifício e a ênfase dada a aprendizagem centrada em conceitos. Além de ser um fato com uso da pragmática em nossa cultura e ligada bastante à experiência sensível.

**Gráfico 15:** Zonas do perfil conceitual de átomo nas representações dadas sobre o efeito de cores na queima dos fogos de artifício.



Fonte: autoria (2022).

### 3.2 – Análise de episódios de ensino na vivência do estudo de caso histórico

A análise dos episódios de ensino foi feita somente referente ao processo vivenciado por três dos alunos participantes da aplicação do ECH. Uma vez que os outros por serem também de instituições de ensino diferentes, ficaram limitados diante das múltiplas realidades vivenciadas pelo restante dos estudantes no âmbito do cenário de dificuldades oriundas da infecção por Covid-19 com o pesquisador e da quantidade de tarefas escolares híbridas para a finalização do ano letivo de 2020 e sequência das atividades escolares em 2021.

Ficou claro que para os sujeitos participantes não estava sendo possível conciliar as atividades remotas com a aplicação do estudo de caso histórico.

Acreditamos que o fato de eles não estarem alunos do pesquisador, nem a pesquisa ter sido aplicada no contexto de uma instituição de ensino comum a todos os sujeitos, diminuiu a possibilidade de contornar.

Mesmo assim, foram feitas vivências isoladas em grupos. E, um deles, composto por E3, E7 e E11, finalizou todas as etapas da sequência didática dessa pesquisa aplicada.

Aqui traremos dois episódios de ensino transcritos da experiência vivida por esses três estudantes, o primeiro, com o vídeo de experimento sobre como produzir o fogo colorido, e, o último, denominado por mim de conferência final.

A definição deles dois se deu por serem os momentos em que eles iniciam e finalizam o contato com as atividades da pesquisa no estudo de caso histórico. Dessa forma, como para esse momento do texto ficaria extensa e exaustiva a análise integral do ECH, acredito que a emergência de zonas do PCA, nesses dois momentos, dá subsídios para atingir os objetivos de pesquisa.

O estudo de caso histórico seguiu o modelo definido por Stinner *et al.* (2003). Iniciando pelo mapeamento de um contexto com uma ideia central unificadora, aqui nessa dissertação entendida como o conceito átomo, feito por meio da visualização e debate de um vídeo experimento do canal Manual do Mundo sobre como fazer o fogo colorido.

No vídeo, o *YouTuber* traz indagações sobre a comparação com as tintas de pintar dos lápis de cor. E afirma que tudo depende da substância do fogo. Apresenta os materiais para realizar os experimentos para acender o fogo, com uma lamparina a álcool. Começa a queima pelo sal de cozinha (chama amarela), em seguida, vieram as fitas de magnésio (chama branca), sulfato de cobre (chama verde) e cloreto de estrôncio (chama vermelha).

Por fim, ele finaliza argumentando sobre a relação com uma aplicação prática comum, os fogos de artifício. Segundo o *YouTuber*, eles também produzem o fogo colorido por meio de alguns tipos de sais e metais quando queimam emitem uma luz colorida.

E, deixa claro que se deve algum elemento conceder energia, o fogo, e alguns elétrons que estão dentro do átomo mudam de posição, vão para uma posição que não é a mais comum. E quando retornam, eles emitem uma radiação eletromagnética, onde, muitas vezes, é emitida na forma de uma luz

visível. Dessa forma, cada substância emite a luz numa frequência diferente. E a depender da frequência diferente, teremos uma luz emitindo por uma cor diferente.

O debate após a visualização do vídeo foi transcrito integralmente, cujo tempo foi de 09 minutos e 09 segundos, no quadro 24 abaixo, com 61 turnos discursivos.

**Quadro 24:** Transcrição do episódio de ensino 1 – Vídeo experimental sobre como fazer o fogo colorido do canal manual do mundo.

Turnos	Sujeitos	Discursos	Modos de pensar
01	P	(...) nesse vídeo o youtuber ele coloca como fazer o fogo colorido. E aí eu vou colocar para vocês como uma pergunta. Como fazer o fogo colorido?	-
02	E3	Então, não é. Mistura aí sulfato de estrôncio, não é. E entre outros elementos, o nitrato de sódio, não é. Do sal. E foram misturados os elementos. E assim surgiu um novo elemento. A partir daquele. Dos dois, não é? <i>A partir da fusão dos dois elementos. Dos dois... dos dois elementos. Surgiu um novo.</i>	S/G
03	P	E aí, E11 concorda? E7?	-
04	E11	Concordo, não é. Mas, aí eu acho que... sei lá. <i>Joga sal. Joga. Mas, eu não acho que surgiu um novo elemento não.</i> Na minha opinião, eu acho que só... sei lá. Só fica a mesma coisa, <i>só muda o estado.</i> Sei lá. Alguma coisa assim.	S
05	P	Você só não sabe dizer o estado de quê?	-
06	E11	Só não... (risos/palavrão). Só não sei dizer o estado. Sei lá. <i>Quente, frio. (risos) Alguma coisa assim. De elétron foi para positivo. Foi para negativo.</i> Sei lá. Alguma coisa por aí. Estou quase. Estou quase no caminho. (risos)	S/G
07	P	Certo. Então se para fazer o fogo colorido eu preciso dessas substâncias como E3 colocou, não é? E esses sais apresentam metais. E o vídeo deixa isso bem claro, não é? Que esses metais diferentes eles vão emitir cores diferentes ao ter contato com a chama. Porque você tem que lembrar que a queima se dá, não é. Ou o colorido se dá quando aquele material ou aquela metal tem contato com a chama. E aí, aquela chama fica colorido ou com uma cor	-

		específica. A que vocês atribuem essa cor específica?	
08	E3	<i>A mudança de estado.</i>	S
09	P	Estado de quê?	-
10	E3	Das moléculas. Das... Do átomo, não é? Das moléculas. <i>Da troca que é feita entre os dois elementos.</i>	S/G
11	P	E eles trocam o quê?	-
12	E3	<i>Eles trocam prótons.</i>	EC
13	P	E7 concorda?	-
14	E7	Concordo não.	-
15	P	Por quê?	-
16	E7	Eu concordo meio assim. E3 falou que é uma subpartícula do átomo. <i>Ou melhor é uma subpartícula do átomo que é trocado. É. É justamente uma subpartícula. Mas só que não é próton, é o elétron. É... é... o que muda é a órbita dos elétrons.</i>	CQ
17	P	E por que é o elétron e não é o próton?	-
18	E7	Porque o elétron... <i>ele é meio que recebe a energia do calor. Que é... que é... que é feito no fogo de artifício.</i>	CQ
19	P	E o próton não poderia receber energia não?	-
20	E7	Eu acho que por ele está... <i>por ele não ter muitos níveis de energia feito o elétron ter. Feito os orbitais que se baseiam na energia. Eu acho que o próton pode ter. Eu acho que o próton pode ter só que não é mais visível feito o elétron. Eu acho que o elétron é a forma mais ideal de ver o que estaria acontecendo, de mudança mesmo.</i>	CQ Sub/CQ CQ
21	P	E onde estão localizados os prótons? Hein, E11?	-
22	E11	Espera. Deixa ver. Onde estão localizados os prótons? É? Deixa ver. <i>Se o elétron é para cá. Será no meio.</i>	CQ
23	P	No meio. Como é que se chama esse meio?	-
24	E11	<i>Núcleo.</i>	CQ
25	P	Núcleo. Então...	-
26	E11	<i>É que nem célula, não é? Núcleo. Esse negócio.</i>	A
27	P	Núcleo. Mas para você seria como uma célula ou uma entidade viva?	-
28	E11	<i>Acho que sim. Sim, sim.</i>	-
29	P	Vamos entender o que é isso. Vocês concordam que o átomo seria uma entidade viva?	-
30	E3	Como?	-
31	P	Você concorda que o átomo seria uma	-

		entidade viva?	
32	E3	<i>Não concordo. Discordo.</i>	-
33	P	E aí por que você discorda?	-
34	E3	Porque não tem comprovações científicas que o átomo. Ele é... Como posso falar? Bactérias, por exemplo. Bactérias são vivas. E o átomo não tenha uma relação com isso. É em relação de ser um ser vivo, entende? <i>O átomo ele só... só habita as coisas. Ele... Só compõe as... a matéria.</i> Mas não tem comprovação científica alguma que o átomo seja a vida. De que a... a bolinha...	C
35	P	Seria um equívoco dizer isso?	-
36	E3	Como?	-
37	P	Seria um equívoco comparar o átomo a uma célula?	-
38	E3	<i>Exatamente. Seria muito equivocado.</i>	-
39	P	Então, que átomo melhor explicaria esse fogo colorido para vocês?	-
40	E3	Quais das teorias de átomo?	-
41	P	Sim. Qual o tipo de átomo? Qual a teoria atômica melhor explicaria para vocês o fogo colorido? Vocês dizem qual e justifica porque, você acha?	-
42	E7	<i>Acho que é o de Niels Böhr.</i>	CQ
43	P	Por quê?	-
44	E7	Por quê mesmo que é... mesmo que <i>Rutherford tenha colocado é... órbitas. Ele só colocou elipses, meio como se fosse órbitas de planetas. Mas não colocou meio como níveis de energia.</i> Já que <i>Niels Böhr colocou como níveis de energia</i> , seria mais fácil explicar é... <i>esses níveis de energia das órbitas que os elétrons podem ter na explicação do... da cor que o elétron poderia dar aos fogos de artifício. Da posição e o tipo de frequência que ele poderia ocasionar na cor.</i>	CQ Q
45	P	E, E3?	-
46	E3	Ah, está. Estava desligado aqui o microfone. Esse mesmo...	-
47	E7	<i>Rutherford.</i>	CQ
48	E3	O que E7 falou.	-
49	E7	<i>O de Böhr.</i>	CQ
50	E3	Nesse caso, eu concordo com ele.	-
51	P	Tem algo a acrescentar a palavra dele?	-
52	E3	Não, não. Tenho nada não. <i>Acredito que ele foi um dos modelos que foi mais... mais desenvolvido. Dentre o de Dalton, Thomson e... e entre os outros aí. Entre Böhr. Enfim...</i>	CQ

53	P	E, E11?	-
54	E7	Eu não sei... eu não sei. É que <i>eu não sei se daria para eu explicar o fogo de artifício pelo modelo de Dalton e Thomson. Thomson, é.</i>	C CQ
55	E3	Na verdade, é que são <i>teorias um tanto quanto meio distintas uma das outras. E nem... E elas não são tão desenvolvidas quanto a de Rutherford. Na minha opinião pelo menos, não é. Que... Pelo que estudei aqui.</i>	CQ
56	E7	É meio que isso, E3. E... <i>O que Niels Böhr, ele fez foi só acrescentar esses... esses níveis de energia das órbitas. Dividindo esse negócio dos elétrons. E acho que foi colocando esse salto quântico, senão me engano.</i>	CQ
57	P	E, E11?	-
58	E11	Concordo professor.	-
59	P	Niels Böhr também? Mais alguma coisa a acrescentar?	-
60	E11	Não, não. Acho que concordo.	-
61	P	Certo.	-

**Legenda:** P – pesquisador; S – sensorialista; Sub – substancialista; C – clássica; Q – quântica; CQ – clássica/quântica; G – generalista; A – animista; EC – erro conceitual. **Fonte:** autoria (2022).

Nas interações discursivas do episódio acima, buscou-se entender de que maneira se produz o fogo colorido. Os turnos 2, 4, 6, 8 e 10 apresentaram visões da experiência sensível. Associando à fusão de dois elementos para surgir um novo, ao jogar sal, à mudança de estado, ao quente e ao frio, à troca entre dois elementos.

Nos turnos 2, 6 e 10, tem-se discursos híbridos com uma visão generalista quando parece considerar o fogo colorido como produzido pela mistura de substâncias e estas sendo elementos também, pela mudança do estado do elétron na carga positiva e negativa, e, das moléculas e dos átomos, findando como sendo estes entes elementos. Isso remete a dificuldade de conceitualizar esses sistemas do conhecimento distintamente em situações de ensino e aprendizagem (GOMES; OLIVEIRA, 2007).

Enquanto no turno 20, observa-se a hibridização substancialista com uma visão que transita do clássico para o quântico ao citar elementos da constituição atômica sofrerem mudanças que podem ser percebidas pela experiência visível (GOMES; OLIVEIRA, 2007; MORTIMER, 2000; SILVA; AMARAL, 2013).

O turno 26 direciona a visão animista pelo fato de o estudante considerar a região nuclear, também presente na estrutura atômica, sendo constituinte da célula. Provavelmente, a emergência desse discurso se associe ao fato do estudante está no ensino médio, estudarem simultaneamente a teoria celular e atômica e não haver problematização entre os entes natos e inatos da matéria (GOMES; OLIVEIRA, 2007; SANTANA; SARMENTO; WARTHA, 2011).

A visão clássica do átomo foi visualizada em discursos presentes nos turnos 34 e 54. Naquele advém a ideia de que o átomo compõe a matéria e nesse quando remete não ter a certeza de a possibilidade do fogo colorido ser explicada pelo modelo atômico de Dalton.

O que seria esperado a dúvida para esse momento do estudo de caso histórico, pois os estudantes ainda não tinham imergido em outras situações de estudo, leituras, escritas, debates fundamentados por meio do aprender a aprender pela pesquisa.

Também vale ressaltar a importância de buscar relações entre os modelos atômicos e os modos de pensar e formas de falar o átomo, pois o ensino de atomística se dá pela compreensão dessas teorias.

Silva e Amaral (2020), apontaram relações do modelo de Dalton com a zona de átomo clássico, por este ter sido elaborado por bases epistemológicas clássicas da ciência química, com formas geométricas definidas para cada tipo de átomo diferente (VIANA, 2007).

Viana e Porto (2007, p. 4) “descreve aspectos da construção da teoria atômica de John Dalton (1766-1844). Influenciado pelo corpuscularismo newtoniano e interessado em fenômenos meteorológicos, Dalton procurou desenvolver um modelo que explicasse o comportamento dos gases”.

O modo de pensar quântico somente foi observado no turno 44 quando o estudante expressa a relação da cor produzida na queima dos fogos de artifício a partir da transição eletrônica dos elétrons quando assumem posições diferentes, parece estar subentendido a indeterminação da partícula de Heisenberg, e frequências distintas emitidas para cada cor visível, parecendo também subentender a dualidade onda-partícula de De Broglie.

Esses aspectos puderam ser bem descritos no início deste capítulo quando se procedeu a revisão de literatura e aprofundou-se historicamente o

atomismo científico, ancorados nos estudos de Meneses (2008); Lopes (2009); Ramírez, Badilla e Miranda (2010); e Aquino Júnior (2013).

No turno 12, observa-se um erro conceitual, pois não se sabe do ponto de vista epistemológico a possibilidade de troca de partículas denominadas prótons. Somente para a do elétron.

Em grande parte dos turnos (16, 18, 20, 22, 24, 42, 44, 47, 49, 52, 54, 55 e 56) foi visualizado modos de pensar que transitam a zona de átomo clássico e quântico. Esse hibridismo de zonas foi verificado em outros estudos como Galiazzi *et al.* (1997), Lopes (2017) e Silva Amaral (2020).

Aqui fica evidente em trechos destacados em itálico no quadro 23 acima por meio de referir-se às subpartículas do átomo, à energia recebida pelo elétron, aos níveis de energia, às órbitas, às regiões núcleo e eletrosfera, este onde se localizam os elétrons, ao salto quântico e à referência aos modelos atômicos de Rutherford e Böhr. Embora ainda seja confuso, sem definição de uso do modelo teórico no contexto de ensino em estudo.

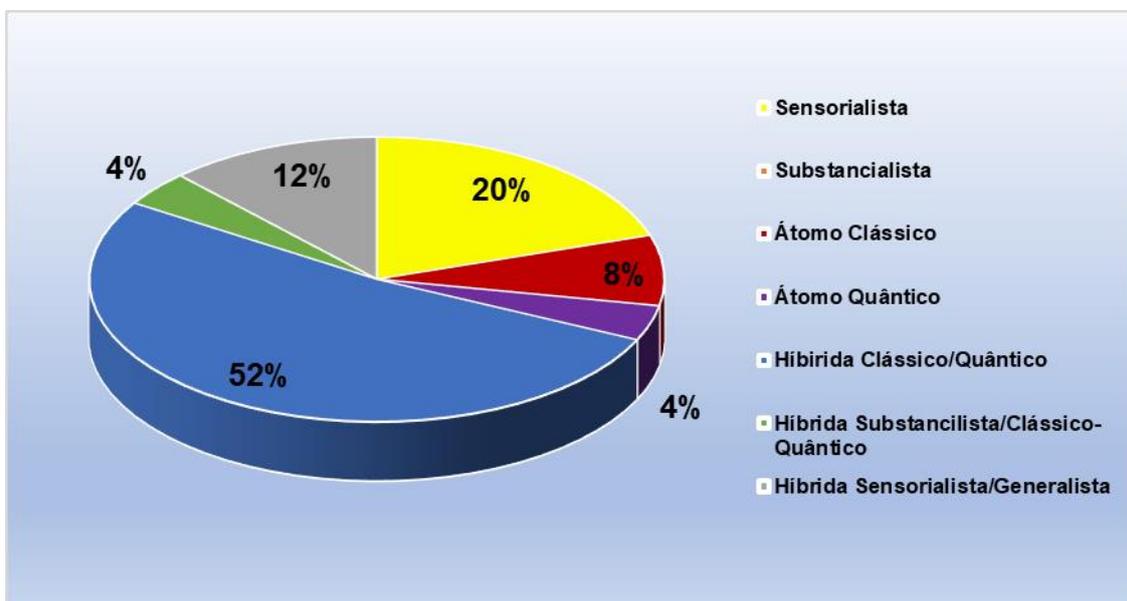
Modos de pensar que se evidenciaram também nos estudos de Gomes e Oliveira (2007); França, Marcondes e Carmo (2009); Körhasan e Wang (2016); e Sunyono e Sudjarwo (2018).

Diante disso, parece que ao aproximarmos os modelos atômicos do final do século XIX e início do século XX com as zonas do perfil conceitual de átomo, como também observados em Silva e Amaral (2020), quando procedi a revisão histórica do atomismo científico e de concepções de estudantes em trabalhos e textos que ainda não haviam sido referenciados por Mortimer (1994; 2000), é possível encontrar bojo para pensar os modelos atômicos e as zonas científicas.

No gráfico 16, observa-se a movimentação de modos de pensar e formas de falar o conceito átomo quando se fala sobre o fogo colorido produzido na chama, cujo discurso emergiram com novas formas que ainda não compunha as zonas do perfil conceitual de átomo proposto por Mortimer (2000), dentre elas: animista, generalista e híbrida clássica/quântica.

As ideias científicas aparecem 16 vezes (68%), dentre estas, a maioria são daquelas que vinculam o conceito átomo ao contexto de ensino do fenômeno da queima dos fogos de artifício em um estudo de caso histórico transitando fortemente a noção clássica e quântica da matéria.

**Gráfico 16:** Zonas do perfil conceitual de átomo emergidas no debate sobre como produzir as cores do fogo artificial após o vídeo do experimento.



Fonte: autoria (2022).

O gráfico 17 sistematiza as zonas do PCA junto aos modos de pensar híbridos dos três estudantes, E3 (SÉRIE 1), E7 (SÉRIE 2) e E11 (SÉRIE 3), participantes do conjunto de dados dessa etapa da análise. Outrora, observando a compreensão deles sobre a mesma pergunta realizada no instrumento questionário diagnóstico, no tópico 4.2.3, vinculam-se a zona sensorialista, com valor pragmático da estética social de Dewey.

Assim, pode-se concluir que os três continuam falando sobre o colorido ligado ao realismo ingênuo oriundo das vivências deles na cultura cotidiana, mesmo tendo assistido ao vídeo do experimento que trouxe explicações científicas por parte do professor *Youtuber*. O que era esperado para esse momento principalmente por ser a etapa inicial do ECH para mapeamento do PAC, como orienta Stinner *et al.* (2003).

Não obstante, percebe-se a emergência da visão substancialista posta por E7 hibridizada às falas que transitam a zona de átomo clássico e quântico. Isso é devido ao fato dela ser uma dificuldade fortemente vinculada à experiência sensível, atribuída aos materiais pelos estudantes quando remetem o colorido do material como sendo a cor do átomo.

Em E3 e E11, emergiu a visão generalista, semelhante ao apresentado por Silva e Amaral (2013) sobre o perfil conceitual de substância, nessa dissertação, ligada ao uso de vários sistemas de conhecimentos sem uma articulação entre eles e totalmente expressa pela experiência primeira, assim como foi analisado no estudo de Santana, Sarmiento e Wartha (2011).

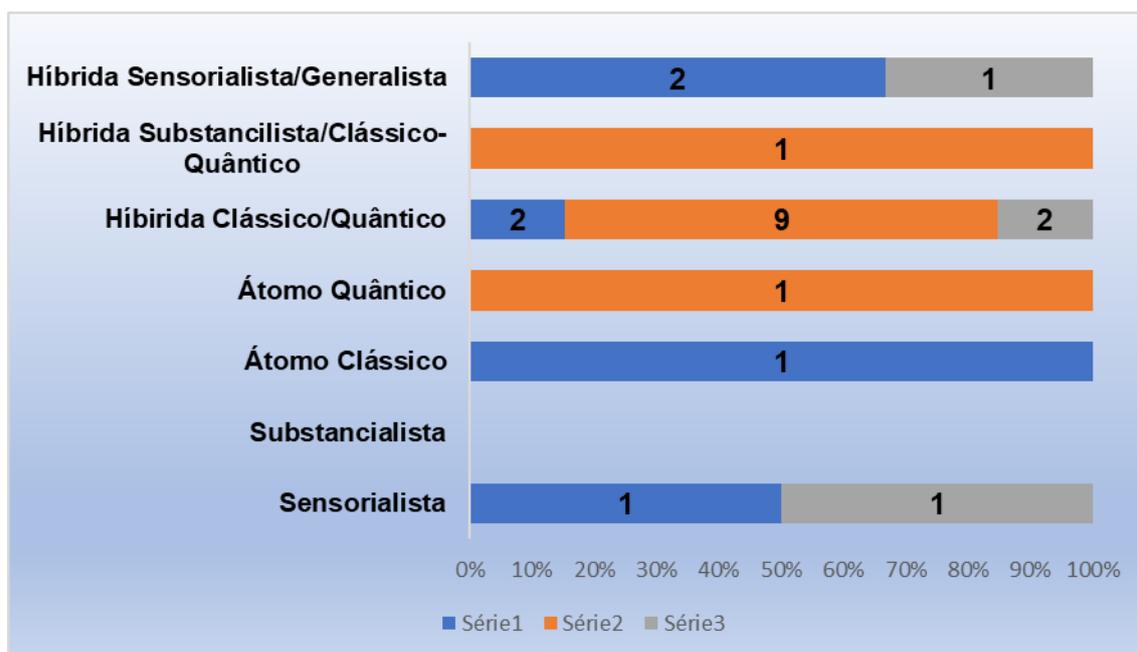
Acredito que o modo de falar generalista aparece nesse contexto, à medida em que nos turnos da cadeia discursiva a memória mecânica dos estudantes quando às informações dada pelo vídeo e dos conceitos que emergem na fala de E7, vão buscando tentativas de relações lógicas que incorre em uma epistemologia generalista ao falar do átomo sem distinção dos outros constituintes da matéria na queima dos fogos de artifício, por parte de E3 e E11.

Mas também, fica evidente a elocução de visões científicas, na maioria dos turnos, sobretudo, em E7, como indícios iniciais do enriquecimento conceitual dele.

E, possivelmente, isso se deu por influência do recurso do vídeo nessa etapa do ECH e do papel do professor/pesquisador ao usar estratégias metacognitivas, quando buscou manter o controle do discurso voltado ao entendimento do contexto em estudo, por meio de instrumentos psicológicos que promovem a mudança da memória mecânica para a lógica.

Acreditamos que essa constatação ocorreu através de questionamentos sobre a concordância do dito aos outros e ao próprio locutor da ideia, por parte do professor, resgatando os pensamentos expressados em palavras que denotam sentidos e significados construídos também na cadeia de interação discursiva (MORTIMER; SCOTT, 2002; PONZIO, 2016).

**Gráfico 17:** Zonas dos perfis conceituais de átomo de cada estudante no debate sobre como produzir as cores do fogo artificial após o vídeo do experimento.



Fonte: autoria (2022).

A análise da transcrição do segundo episódio de ensino definido como parte da conferência final para este texto da dissertação foi em um tempo de quase 46 minutos. Devido à duração, seria muito exaustiva e extensa se fosse disposto em um único episódio transcrito, sobretudo.

E como o debate na última etapa do ECH consistia em três questões sobre o PAC e o conceito átomo, aproveitou-se a cadeia lógica discursiva estabelecida por cada tipo de questionamento realizado pelo professor/pesquisador para apresentar e discutir a emergência das zonas do PCA.

Para iniciar, buscamos situar o leitor no tocante ao contexto de ensino e aprendizagem em que se desvelou o ECH e às razões pelas quais me fizeram fazer esse recorte na análise comparada entre a etapa inicial e a final, no tocante a primeira questão.

Do exposto, apresentamos abaixo a presença de fortes elementos que sustentam a defesa dessa pesquisa desenvolvida quanto à contribuição do estudo de caso histórico na mudança/enriquecimento dos perfis conceituais de átomo dos estudantes participantes, comparado ao questionário diagnóstico e ao debate inicial a partir do vídeo.

Sabe-se que a metodologia de elaboração de ECH que se adotou nessa pesquisa foi a do programa de pesquisa do Arthur Stinner, estruturada em

diálogo constante com as zonas do perfil conceitual de átomo propostas por Mortimer (2000).

Dito isto, a seguir, voltamos a lembrá-lo do que os estudantes vivenciaram em outras etapas descritas no capítulo anterior entre o início e o final do ECH, a saber:

1 - Resolução de situações-problemas em contextos culturais do cotidiano, o do Réveillon e o da festa de São João;

2 - Apresentação do *story line* para realçar o universo imaginário conflitante que foi dramatizado ao final sobre a decisão de qual modelo atômico explica a queima dos fogos de artifício e o colorido;

3 - Imersão em investigações individuais e coletivas enquanto cientistas pertencentes a uma comunidade introduzida pelo enredo histórico, apresentado como *story line*, através das questões norteadoras de pesquisas simples, intermediária e aprofundadas, onde foi estabelecida relações entre as ideias, os problemas e as conclusões, envolvendo o conceito átomo (ideia central unificadora) e o contexto da queima dos fogos de artifício (problema de amplo contexto – PAC) ao longo de quatro períodos históricos, cuja precisão e generalização promoveram o espaço de extensão apresentados em três fluxogramas.

A seguir, no quadro 25, será observado trechos da resolução do conflito gerador dos estudantes com o professor/pesquisador, este sendo o líder do grupo de pesquisa do qual os estudantes pertenciam ao mesmo programa, com 63 turnos da conferência final do ECH, quando perguntados sobre do que são feitos os fogos de artifício.

**Quadro 25:** Transcrição do episódio de ensino 2 – Conferência final do estudo de caso histórico.

Turnos	Sujeitos	Discursos	Modos de pensar
01	P	Eu sou o cientista Monique Ravengá. E sou líder dessa comunidade de ciência. E, nós	

		estamos na década de 1920, do século passado, na cidade de Copenhague. E vamos discutir nesse momento como que nós podemos relacionar a física atômica, a teoria atômica, o modelo atômico. Alguma proposta de nossos colegas sobre a estrutura da matéria quando a gente observa e experimenta o fenômeno da queima dos fogos de artifício. Aqui nós temos mais três cientistas. Eu quero que cada um se apresente a nossa mesa de Conferência para que a gente possa dar início ao nosso debate.	-
02	E7	Bom, meu nome é Dant Boncleme. Um cientista alemão com brasileiro. Eu sou de nacionalidade brasileira, mas tenho descendência da Alemanha. Boa noite!  Bom, é... o meu... a minha visão sobre o átomo para a matéria. Nesse... nessa situação é que o comportamento atômico é bastante interessante e até estranho. Vamos dizer assim. Porque quando a gente relaciona esse comportamento com a vida da gente atual. A gente percebe que a observação como ser é uma coisa que dá forças ao mundo quântico. <i>Por causa de certas ondulações que se tornam partículas enquanto vemos.</i> E, por isso, é... observar fenômenos causam um tipo de força, principalmente, nos fogos artificiais. Porque é <i>quando ocorre um salto quântico com um comportamento anormal do elétron. É que ele se comporta como onda-partícula.</i>	Q
03	P	Qual é o próximo de nossa mesa se apresentar?	-
04	E3	Olá, Boa noite! Me chamo Vladimir Sergel. Sou um químico soviético. Exilado da antiga união soviética comunista. Bom, eu acredito que o átomo. O reino quântico, na verdade, por si só. <i>Ele é como se fosse um outro plano, uma outra realidade.</i> Eu acho que <i>tudo se comporta involuntariamente, assim como a nossa vida.</i> Porém, é quase que basicamente fosse como <i>um portal para um mundo totalmente diferente que a gente não pode habitar. Porém, a gente sabe que existe. A gente sabe que ele está ali. Porém, não tem como acessá-lo.</i>	Q
05	P	Obrigado. Mais um membro da mesa para se apresentar?	-
06	E11	Boa noite! Meu nome é Batalhões Júnior. Eu nasci no Brasil. E, estou estudando modelo	

		atômico aqui na... no meio acadêmico mesmo. Aqui, com meus colegas. E cada vez que estudo... É, desculpe dizer: tenho 26 anos. Só para informar. Tenho 23 anos. Estou estudando com meus colegas, modelos atômicos. E, cada vez que eu estudo sobre colegas modelos atômicos, eu me interesso mais. Que são várias possibilidades que você pode pensar. E cada vez que estou experimentando e fazendo experimentos. Eu vejo que o outro estava errado e outro estava certo. Pego um pouquinho de cada um e vejo que o <i>átomo é uma coisa incrível. E, como que uma coisa indivisível pode existir.</i> Me faz pensar. Eu quero estudar mais e mais sobre isso. É isso. Obrigado.	C
07	P	Obrigado pela apresentação da mesa. Damos início a nossa conferência final. E para começar o nosso debate, eu faço a nossa primeira pergunta. E dou oportunidade a cada um dos três para colocar suas questões, suas ideias, suas percepções, seus experimentos realizados. E questionar o colega sobre a ideia que ele apresenta também. Então, precisamos chegar aqui num consenso. E essas decisões vão nos ajudar a construir esse consenso final. Então, para iniciar, de que são feitos os fogos de artifício?	-
08	E3	Bom, os fogos de artifício são, nada mais, nada menos que <i>uma fusão dos materiais químicos, não é? Nitrato de sódio, é... potássio.</i> Enfim, como posso dizer também, é... (silêncio).	S
09	P	O que você chama de fusão? Poderia explicar melhor.	-
10	E3	Professor? Opa. Professor, voltei, voltei. Fiquei muito tempo fora do ar? Sim, minha internet aqui está meio ruim.	-
11	P	Você parou em fusão de nitrato de potássio. E parou.	-
12	E3	Ah, sim é... O senhor fez alguma pergunta? É que eu não escutei.	-
13	P	Fiz. Você continuou sua fala. Quer terminar não?	-
14	E3	Não, é isso. É sobre <i>a fusão dos materiais.</i>	S
15	P	O que é que você chama de fusão? Poderia explicar melhor sobre	-
16	E3	Digamos que... digamos que temos três ingredientes. E esses <i>ingredientes quando eles são misturados. Eles dão origem a um novo ingrediente.</i> Então, assim é formado os fogos	S

		de artifício. Basicamente assim.	
17	P	E que nome você dá a esses ingredientes? (ruído)	-
18	E3	Você <i>tem o nitrato de sódio, cloreto de potássio. É... Você também tem a pólvora. E...</i> Entre outros materiais, é claro, não é? Porque são muitos. Assim, dependendo das possibilidades que você quer. Porque digamos assim, se for fogos... se for fogos de artifício um pouco mais simples, não é? É, claro, não é? que vão ter poucos materiais. Porém, se for, como posso dizer, <i>no dia da Independência dos Estados Unidos que tem aquele show que se desenhou a bandeira dos Estados Unidos no céu com os fogos de artifício.</i> Aí, nesse caso, vai exigir mais materiais.	S
19	P	E os colegas da mesa concordam com o nosso cientista? Alguém quer falar sobre a fala dele e ao mesmo tempo expor a sua opinião?	-
20	E11	Expõe tua opinião, por favor.	-
21	E7	É... o que eu acho dos fogos de artifício. Você pode perguntar. Repetir a pergunta para eu...	-
22	P	De que são feitos os fogos de artifício?	-
23	E7	Eu acho que os fogos de artifício são <i>feitos de pólvora negra, coloca no recipiente, carvão, enxofre. Aí, coloca em estrelas, é... metais. Tipos de metais. Aí, sódio, cobre. É... eu acho que é isso. Isso. Pólvora negra, enxofre, carvão.</i>	S
24	P	E você (falaram ao mesmo tempo) chamaria a pólvora negra, o enxofre, o carvão, esses metais de fusão dos materiais? A união desses ingredientes? Assim como nosso colega cientista se reportou?	-
25	E7	Chamar de fusão. No caso, é... <i>uma mistura de todos os materiais para dar um... algum resultado.</i> Eu acho que não é exatamente bem uma fusão. Eu acho que é... <i>a pólvora. Aí... no caso, vai ter um tipo de energia... um tipo de energia. Cria uma combustão.</i> Vai criar um tipo de energia que vai liberar... como eu disse energia. Aí como nas estrelas têm metais. <i>Os átomos desses metais, os elétrons, no caso. Eles vão, meio que saltar de camada rapidamente e voltar para o lugar de origem.</i> Então, eu não chamaria isso de fusão. Chamaria isso de uma reação.	S/CQ
26	P	Certo. A queima dos fogos de artifícios seria entendida, então, como uma reação.	-
27	E7	Sim.	-

28	P	Mas, de que eles são feitos os fogos de artifício? Eles são feitos de materiais? ou eles são feitos de metais? Ou eles são feitos de átomos? de elétrons? Como é que vocês concluem, de que são feitos os fogos de artifício?	-
29	E7	Eu acho que são <i>feitos de materiais</i> .	S
30	P	No caso, os materiais que você citou?	-
31	E7	Você fala dos materiais que eu citei?	-
32	P	Sim. No caso, seriam dos materiais que você citou?	-
33	E7	Sim. <i>Pólvora negra, enxofre e carvão. E alguns metais</i> .	S
34	P	E o nosso outro colega cientista, concorda com o que pensam os nossos dois outros colegas? E o que pensa sobre de que são feitos os fogos de artifício?	-
35	E11	Bem, eu acho que eu não concordo com a palavra fusão. Porque não está bem colocada. Mas, eu meio que entendo a sua colocação. É... eu acho que <i>a pólvora é feita de salitre. E... A pólvora, não. Os fogos de artifício. Eu falei salitre que é uma mistura de enxofre e carvão, e outros elementos que eu não me lembro. Porque eu não parei para anotar essas coisas. E... e... atualmente ele contém um tipo de estrela que quando ele tem uma certa substância. Que quando excitado os seus elétrons, as suas camadas, as outras camadas, dependendo do tipo de substância vai soltar um tipo de cor. Não exatamente soltar, mas liberar um tipo de cor como uma forma de... de se equilibrar. Por meio disso, na minha visão, os fogos de artifício são feitos disso mesmo, salitre e estrelas, contendo substâncias que vão dar a cor. É basicamente isso.</i>	S Sub CQ
36	P	É, quando você sobre não concordar com a ideia de fusão, mas entender o sentido atribuído. E qual seria o sentido que você considera que o colega cientista se reportou?	-
37	E11	Eu queria meio que dizer <i>uma conjunção de elementos. Uma fusão de elementos seria, meio que, uma conjunção. Mas, a palavra fusão está associada à... como é que eu posso dizer? A se fundir. Caso, é... ter outro... Ter outro tipo de estado. Bom, ele vai manter o estado, mas só que ele vai se misturar com outras coisas. Mais ou menos isso.</i>	S
38	P	Certo. Você reportou aí na constituição, não é, dos fogos de artifício. A presença de	

		substâncias ou de elementos. Então, como é que você... é... poderia concluir? Eles seriam feitos de materiais? que são esses que você coloca também. Ou substâncias? Ou elementos? De que...	-
39	E11	São...	-
40	E7	Com licença, aí. Boa noite!	-
41	P	eles são constituídos?	-
42	E11	<i>Eles são feitos de sais e metais que vão emitir um tipo de incandescência ou luminescência. É... por meio do calor.</i>	S
43	P	E esses sais e metais, você chama de quê?	-
44	E11	Eu chamo de <i>substâncias que podem sofrer um tipo de excitação em suas... suas camadas eletrônicas que podem emitir um tipo de luz e calor.</i> Para uma determinada temperatura.	G/CQ
45	P	Os colegas concordam?	-
46	E11	Sim. Concordo.	-
47	E3	Em partes.	-
48	P	Por que em partes?	-
49	E3	Eu acredito que a ideia do amigo está um pouco equivocada, porém, por um lado, ele está certo, é claro, sim.	-
50	P	Em que exatamente?	-
51	E3	Da última fala dele sobre a temperatura. Está tudo correto. Porém, a ideia dele está muito equivocada quanto à fusão.	-
52	P	Você acha que quando você fala de fusão, você não dá o sentido que ele está querendo explicar. Que é a questão da mudança do estado da matéria, não é? Você dá outro sentido, não é isso?	-
53	E3	Exatamente.	-
54	P	Qual seria o seu sentido?	-
56	E3	Eu acredito que <i>os seres se fundem para se torna um novo ser.</i> É... é claro, não é, que essa analogia que eu estou fazendo se refere a outro tipo de fusão. Porém, <i>ela se aplica perfeitamente a esse tipo de fusão, não é, Entre os materiais para tornar o fogo de artifício.</i>	S/A
57	P	Então, você quer dizer esse tipo de fusão seria uma espécie de junção entre esses materiais?	-
58	E3	Exatamente. <i>Uma junção para formar um novo material.</i>	S
60	P	Um novo material, não é? Então, esse novo material não é especificamente como você usa na analogia a um ser?	-
61	E3	Exatamente.	-

62	P	Essa analogia parece que remete a um outro entendimento, não é? Talvez, que você dá vida a esse material, não é? Talvez seja importante a gente pensar em como a gente fazer algumas comparações? Não acredita?	-
63	E3	Acredito.	-

**Legenda:** P – pesquisador; S – sensorialista; Sub – substancialista; C – clássica; Q – quântica; CQ – clássica/quântica; A – animista; G - generalista. **Fonte:** autoria (2022).

As interações discursivas nesse episódio objetivaram debater sobre a primeira questão da conferência final: de que são feitos os fogos de artifício? Mas, antes de iniciar o debate dos discursos é importante trazer os elementos constitutivos desse cenário imaginário que engajou os estudantes no desenvolvimento do enredo histórico, o *story line*, quando apresentaram seus personagens eu-cientista criados, conforme orientação descritas no apêndice D.

Foram evidentes nas vídeo gravações o entusiasmo, a criatividade, o encantamento e o conjunto de conhecimentos construídos pelos estudantes na investigação das questões-problemas fundantes e de pesquisa nos períodos históricos delineados, envolvendo o PAC e o PCA, nos registros do DHPC, diálogos em chat e apresentação dos fluxogramas, em um formato de interações discursivas a fim de promover reflexões sobre o que eles pensavam, estratégias metacognitivas.

Outro aspecto importante é perceber o tamanho de tempo dos discursos em alguns turnos. Isso parece mostrar um maior aprofundamento teórico e controle da memória lógica dos estudantes, uma vez que passaram por etapas anteriores que possivelmente tiveram grande influência para a constituição dessas formas de falar o PAC e, conseqüentemente, associar a ele visões diferentes sobre o conceito átomo.

A zona de átomo quântico emergiu nos turnos 2 e 4 quando os estudantes apontaram para a possibilidade de observar a realidade quântica através de aspectos como associar o salto quântico do elétron, sendo este de comportamento dualístico, isto é, onda-partícula; e da existência real sem poder habitar.

Isso de não habitar nos parece não ser um ambiente onde corpos possam existir. E “passar por um portal” nos remete a mudança paradigmática

que é a realidade quântica da clássica. O que poderia fortalecer ideias que eliminem os vestígios do corpuscularismo e da relação observador-objeto determinada e mecanicista para pensar e falar a zona de átomo quântico.

A existência da realidade quântica encontra um forte compromisso na pragmática de Putnam (ALMEIDA, 2019), visto que a teoria atômica é um conceito útil para a solução de problemas na comunidade científica contemporânea principalmente (SILVA; AMARAL, 2019).

A zona de átomo clássico emergiu somente no turno 6 ao observar a relação do átomo como algo indivisível que existe. Isso também fortalece a pragmática de Putnam sobre a realidade da hipótese atômica que não foi tão simples quanto os livros-textos apresentam o desenvolvimento histórico. Segundo Pereira e Silva (2018), os embates filosóficos ligados ao empirismo lógico colocaram no século XIX a comunidade de atomistas físicos e químicos, bem como dos antiatomistas, conhecidos por energicistas.

É possível observar ainda nesse turno a associação do átomo como algo incrível. Do exposto, depreende-se aspectos oriundos de estudos da linguagem que relacionam a sintaxe, semântica e a pragmática funcional. Pois, eles se aproximam dos cognitivistas, como Halliday, por meio da gramática sistêmico-funcional e do socioculturalismo.

Aqui entendo que “o funcionalismo trouxe para a explicitação da gramática a consideração de que, a cada instância de produção de linguagem, ativa-se a gramática, e de que, portanto, a gramática é a própria organização da fala, acionada no uso linguístico (NEVES, 2017, p. 28).

E no contexto do discurso, o estudante atribui ao predicativo do sujeito “incrível”, compreendido por predicação sintática esse ente semântico-pragmático, o motivo e o direcionamento do ato da linguagem expressa pela informação e organização da textualidade que, nessa pesquisa, observou-se pela consideração da pluralidade de teorias atômicas sendo útil pelas diversas possibilidades de explicar determinados experimentos que outros, a pragmática funcionalista defendida por Dick (1997).

Nos turnos 8, 14, 16, 18, 23, 29, 33, 37, 42 e 58, encontro sentidos atribuídos por meio da percepção sensível, pelo fato de falarem sobre os tipos de materiais, ingredientes, procedimento reacional como misturas, fusão e outros.

Dessa forma, percebe-se que o tipo de pergunta vem conduzindo os estudantes a direcionarem suas ideias ligadas a realidade ingênua. E essa pluralidade advém, possivelmente, das investigações realizadas em etapas anteriores, que mantêm ao longo do desenvolvimento histórico a visão material para a composição dos fogos de artifício. Aspecto observado no questionário diagnóstico e na análise do primeiro episódio de ensino transcrito acima.

Além do forte vínculo do uso cultural de palavras que explicitam suas ideias de forma mais simples quando comparadas às generalizações científicas, não são comuns em práticas sociais contextualmente situadas.

Como aquela citada por E3 ao citar a composição do fogo artificial dependendo da finalidade de uso, quando situou o discurso em um cenário de comemoração da Independência de um país, semelhantemente, as situações-problemas vivenciadas pelos estudantes no ECH a fim de ampliar o PAC em contextos do cotidiano. Aqui mais uma vez se referencia a pragmática estética de Dewey.

Contudo, a experiência primeira também se evidenciou em outros turnos híbridos, nessa ordem, 25, 35 e 56, com a visão que transita entre o clássico e o quântico ao citar que os elétrons se excitam nas camadas para dar o salto quântico nos átomos que compõem substâncias e metais; a visão substancialista ao atribuir a cor do material com sendo o tipo de cor dos elétrons liberados; e a visão animista quando explicou o processo como relacionados a mistura de seres para formar um novo.

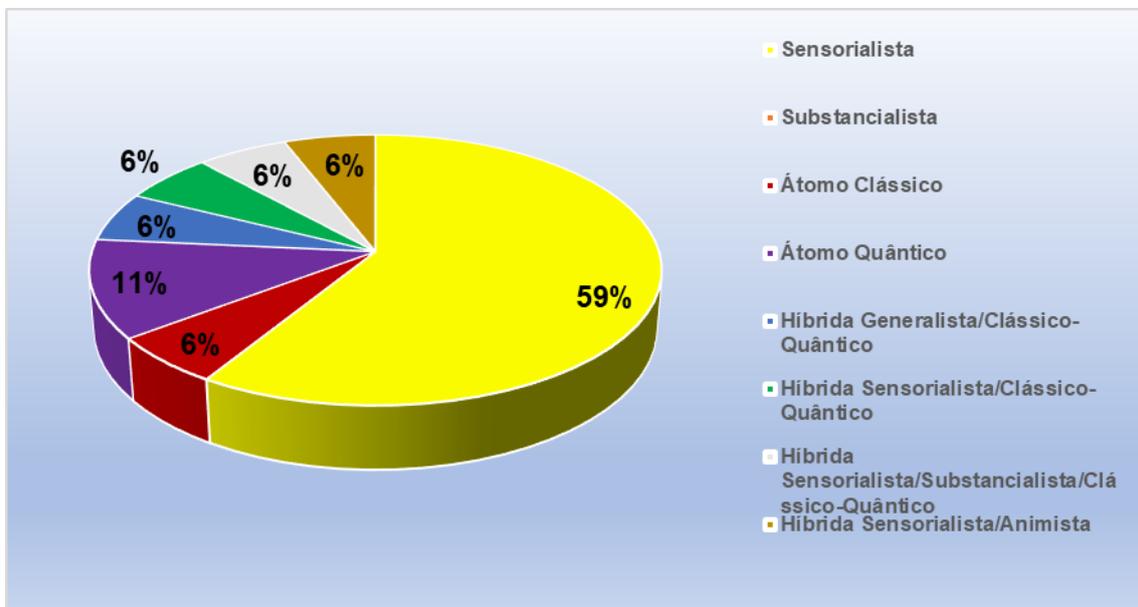
Somente no turno 44 se encontrou a visão generalista híbrida com a que transita entre o clássico e o quântico, pois o estudante explicita que os processos eletrônicos de mudança de camadas pertencem as substâncias. Embora, ocorra nos átomos que constituem as substâncias dos fogos de artifício. Essa indistinção conceitual entre eventos atômicos e das substâncias faz com que classifique em uma ideia generalista, semelhante ao estudo de Silva (2011), e Silva e Amaral (2020).

No gráfico 18, organizou-se as zonas do PCA presentes nessa pergunta da conferência final. E era esperado emergir ideias plurais sobre o conceito átomo, sendo 59% sensorialista, 17% de átomo clássico e quântico, e 24% híbridas, destas quatro, três se aproximavam da experiência realista. Mesmo o professor/pesquisador desenvolvendo estratégias metacognitivas por meio de

perguntas incluindo as palavras dos participantes e solicitando esclarecimentos e conclusão da fala de si e de outrem.

Ainda é importante destacar que a noção quântica se mostrou na apresentação dos personagens eu-cientistas de dois dos estudantes, provavelmente, o universo imaginário e o preparo para o momento final do ECH possam ter contribuído para eles assumirem essas ideias em seus discursos por exercerem uma forte influência internamente persuasiva, levando em consideração toda a vivência da SD.

**Gráfico 18:** Zonas do perfil conceitual de átomo no debate da conferência final sobre de que são feitos os fogos de artifício.



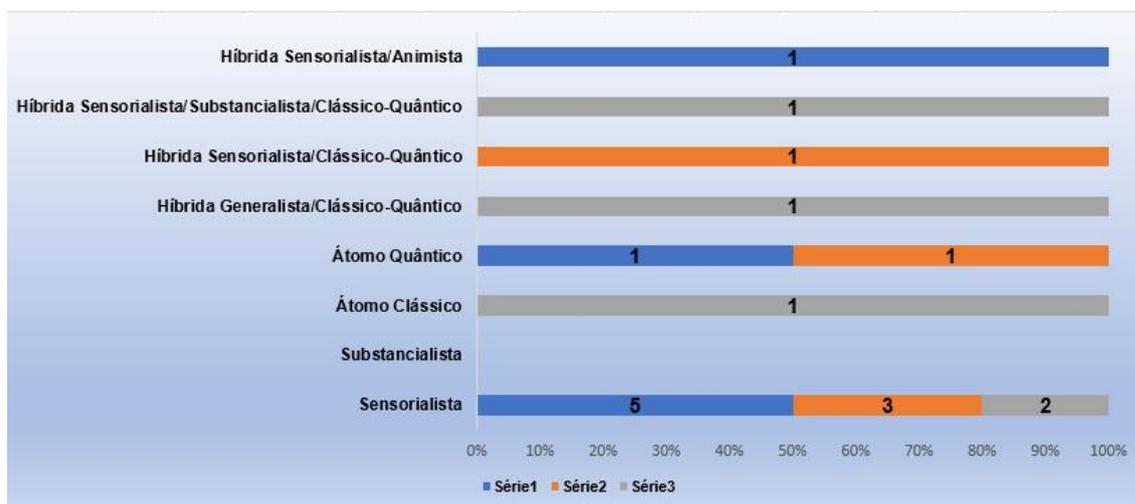
Fonte: autoria (2022).

Quando comparamos o movimento das zonas do PCA nesse trecho transcrito da interação discursiva referente à primeira pergunta com o do questionário e o da etapa inicial do ECH, tem-se o E3 ainda fortemente vinculado as ideias realistas, emergindo em suas falas analogias que nesse momento traz a ideia do anismo. Contudo, ele traz a visão quântica da matéria no PAC em estudo.

Já E7, passa a apresentar mais visões sensorialistas, ainda que híbrida transitando a noção clássica da quântica. E11 também se vincula ao realismo ingênuo, mas traz delimitado a zona de átomo clássico. Como também

permanece com visões híbridas generalistas que estão juntas aquelas entre o mundo clássico e quântico da matéria.

**Gráfico 19:** Zonas dos perfis conceituais de átomo de cada estudante no debate da conferência final sobre de que são feitos os fogos de artifícios.



Fonte: autoria (2022).

No tópico seguinte, buscamos reunir as ideias atomísticas que trouxemos nessa dissertação da literatura e da aplicação do ECH para propormos a primeira matriz semântica para o átomo.

### 3.3 - Proposta de uma primeira matriz semântica para o conceito de átomo

A matriz semântica do conceito de átomo desenvolvida nesse estudo traz também um elemento novo para compô-la, denominado por nós de natureza-cultura, anterior a definição dos temas epistemológicos, pois aqui assumimos a compreensão dos conhecimentos situados em contextos distintos dos saberes da humanidade em uma relação indissociável da natureza e cultura.

Para fundamentar o uso da expressão natureza-cultura na teoria dos perfis conceituais, admitindo a compreensão mais ampla dos sentidos e significados ao considerar o plano social onde ocorre os processos de ensino e aprendizagem como multicultural, pois a relação conceito-contextos são

indissociáveis e complexificadas, vinculando-os intrinsecamente à cultura e à natureza deles, segundo a perspectiva histórico-cultural de Vygotsky.

Do exposto sobre a natureza e a cultura na TPC, depreende-se que esses processos são “ao mesmo tempo autônomos e mutuamente constitutivos: se a natureza, essencialmente histórica para os seres humanos, fornece a base para o desenvolvimento cultural, este último redimensiona as faculdades herdadas, tornando-as conscientes” (NUENBERG; ZANELA, 2003, p. 86).

Ademais, a objetivação dialética da psique humana “(...) não deve ser considerada como uma série de processos especiais que existem em algum lugar na qualidade de complementos acima e aparte dos cerebrais, mas como expressão subjetiva desses mesmos processos, como uma faceta especial, uma característica qualitativa especial das funções superiores do cérebro” (VYGOTSKY, 1991, p. 100).

É nesse sentido que defendemos nessa pesquisa olhar para a natureza-cultura, ancora-se em Vygotsky por ele apontar que a unidade dialética na diversidade das duas concepções da humanidade – espécie e condição – se interrelacionam aos processos fisiológicos e psicológicos, nesse considera-se aspectos subjetivos e objetivos, uma vez que todo ser humano se fundamenta e expressa em seu tempo histórico; naquele a herança filogenética de determinada cultura, deixando registros em seu próprio corpo. E, à medida em que se apropria, ao mesmo tempo, é constantemente transformada pela racionalidade superadora de dicotomias.

A profunda diferença entre os processos psíquicos e fisiológicos resulta totalmente insuperável para o pensamento metafísico, sendo que a irredutibilidade de uns a outros não constitui obstáculo algum para o pensamento dialético, acostumado a analisar os processos de desenvolvimento por um lado como processos contínuos e, por outro, como processos que vão acompanhados de saltos, do aparecimento de novas qualidades (VYGOTSKY, 1991, p. 99).

A atividade humana, defendida por Vygotsky, desenvolve a aprendizagem pela apropriação através desses saltos e novas qualidades tecidas nas relações sociais, em outras maneiras de mediar a cultura nos processos de humanização as quais podem ser mais avançadas daqueles já existentes (WERTSCH, 1988).

Desse modo, consoante Vygotsky (1987), entendemos que a conduta cultural humana na atividade pode assumir outras formas e, assim, modificar a sua tipologia funcional psíquica. Aspecto relevante para o programa de pesquisa dos perfis conceituais, ao considerar a estruturação da polissemia de conceito-contextos em diversas naturezas-culturais, como pode-se ver no trecho seguinte:

(...) com a apropriação da cultura, todo o conjunto de processos psicológicos superiores, pois ainda que se faça referência aos mesmos separadamente, na atividade humana objetivam-se como um todo integral, assim como o sujeito da atividade apresenta-se sempre e necessariamente como cognitivo, afetivo, corpóreo, com características de gênero, geração, classe social e etnia, entre outras categorias sociais. Enfim, como sujeito social e histórico (NUENBERG; ZANELA, 2003, p. 86).

Ao aproximarmos da TPC, sabemos que os conceitos são perfilados com base na filosofia histórico-cultural, envolvendo diversas naturezas de investigação, física, social e/ou artística, por exemplo, cujos significados e sentidos permeiam dimensões culturais diferentes em contextos de uso em um espaço-tempo historicamente situados por determinados grupos de indivíduos.

Dessa forma, levando em consideração também a epistemologia de Thomas Kuhn (2007) sobre as revoluções científicas passarem por períodos de ciências normal, anomalias, crises e mudanças paradigmáticas, definimos duas naturezas-culturais historicamente consolidadas quando se percorreu a revisão da literatura sobre as concepções históricas e informais para o conceito átomo e do fogo artificial, uma oriunda da filosofia e a outra da ciência.

A seguir, serão explicitadas as ideias de naturezas-culturas paradigmáticas diferentes, historicamente situadas em contextos de uso, envolvidos nos temas epistemológicos delimitados.

### *3.3.1 - Temas epistemológicos: o atomismo e o antiatomismo*

Com o propósito de nortear a discussão envolvendo os modos de pensar e as formas de falar o conceito de átomo, estabelecemos uma trajetória histórica em que evidencie os momentos de rupturas e continuidades sobrepostas sobre seu desenvolvimento. Alguns trabalhos da literatura

trouxeram possibilidades de olhar para ampliações das zonas do perfil conceitual de átomo, com novas concepções oriundas de estudantes sobre a compreensão desse conceito em contextos específicos de estudo, como, por exemplo, o da queima dos fogos de artifício. Para isso, dividimos os temas epistemológicos vinculados à defesa e à negação da ideia de átomo, atomismo e antiatomismo e suas respectivas visões e categorias associadas.

#### Antiatomismo filosófico

O antiatomismo filosófico se vincula epistemologicamente a visão realista (MORTIMER, 2000) com ideias contra atômicas da filosofia grega clássica, quando consideram a natureza/constituição das coisas pelo divino, pelas observações e pela razão, em busca do princípio primordial único, elemento ou infinitos princípios (MAAR, 2008), por exemplo, água, terra, fogo, ar, neve, sementes, éter ou *apeiron*, isto é, a substância eterna, indestrutível, invisível, infinita que possui movimento (CHASSOT, 1994). As categorias que emergem são a experiência primeira, a dialética abstrata ou os princípios reais do mundo, o mobilismo eterno, desprovido do vazio e preenchido continuamente.

Ao considerar a realidade do universo como o todo governado pela unidade divina, tem-se a visão panteísta, a qual é desprovida do antropomorfismo (CHASSOT, 1994). Para a filosofia elementar os processos de mudança se vinculam à indestrutibilidade e à mobilidade, por meio de forças promovidas por sentimentos opostos, emergindo a categoria dualística e antropomórfica (CHASSOT, 1994; MAAR, 2008).

Na filosofia renascentista, com a latroquímica, continuou-se com a visão realista associada à categoria de princípios elementares, mercúrio, enxofre, sal, água, por exemplo, em processos de cura/tratamento de doenças. Assim como, às categorias plenitude, continuidade e infinita divisibilidade do universo, imbuído do mecanicismo newtoniano criando vórtices (VIANA, 2007).

Melo e Lima Neto (2013) apresentam a visão realista por estudantes sobre o átomo e nesse estudo como sendo bolinha, partícula, associando o fenômeno de queima dos fogos de artifício e o efeito das cores às substâncias, produtos químicos e aos materiais, a saber: pólvora, sais minerais, corantes,

tintas, pigmentações (MATOS; KIOURANIS, 2015). Negando o átomo ou modelos atômicos e o vazio por considerar a matéria contínua, sólida, real e palpável.

A generalização e o animismo, apresentaram-se em Matos e Kiouranis (2015) ao argumentarem sobre a composição da matéria e as cores emitidas pela queima dos fogos de artifício. Sendo a evidência generalista vinculada possivelmente à observação sensível do mundo físico, sem estabelecer relações diferentes entre os entes químicos e a animista por terem dado vida ao átomo ao se referir ao colorido.

Santana, Sarmiento e Wartha (2011) também trouxeram a visão de átomo como célula com partes descritas por nomeação: núcleo, parede celular e citoplasma. Em França, Marcondes e Carmo (2009) ainda se evidenciam características atribuídas a estrutura atômica semelhante à de uma célula, como sendo a visão animista, e a não diferenciação entre átomo, íon e molécula, sendo a visão generalista.

O substancialismo tão presente nessa vertente epistemológica do átomo, depreende-se de Melo e Lima Neto (2013) quando tratam o colorido dos fogos de artifício e composição dos materiais como incandescência e luminescência causadas por uma substância; alguma substância presente nele dá origem a incandescência e luminescência; sem energia os fogos não iam produzir cor, pois tem algum composto que a produz. Isso nos permite aproximar das categorias realismo ingênuo, mecanicista e corpularista, semelhante a Mortimer (2000) e Murta, Silva e Araújo (2013), esses elementos são dificuldades de superação do substancialismo e da experiência primeira.

É possível também observar um compromisso axiológico da pragmática estética social baseada na filosofia John Dewey, ao considerar as fissuras da intelectualidade na natureza instrumental do pensamento quantitativo quando se separa das práticas as belezas, cuja experiência intuitiva transcende o objeto estudado, sem se desvincular dele. Dessa forma, a beleza expressa do fogo colorido pela união dos materiais se vincula à pragmática aqui definida de percepção estética da matéria, imbuída de caráter social e político (FALCÃO, 2013)

O atomismo filosófico emergiu nas ideias gregas de Leucipo, Demócrito, Epicuro e Pitágoras ao considerar a matéria constituída de uma última partícula, de características indivisível, eterno, indestrutível, sem uma causa primeira e de movimento contínuo no vácuo (MAAR, 2008). Essa visão apresenta uma ontologia dualística eleática: o Ser, o todo eterno, indiferenciado, com mobilidade e descontínuo; e, o não-Ser, o vácuo e inexistente. Assim, toda matéria assume qualidades semelhantes, contudo com formas, tamanhos e massas diferentes.

É na ontologia cosmogônica de Demócrito que o átomo constitui diferentes materiais, sendo a mudança e diferenciações causa do mecanicismo-corporcular, sem haver ligação com o divino. Para Chassot (1994) o atomismo filosófico quantitativo surge na escola de Pitagórica, compreendendo a harmonia material relacionado ao número, considerado realidade e verdade eterna única. Além desse, na filosofia de Platão encontramos o atomismo geométrico, cuja distinção se deve à inexistência do vácuo (MAAR, 2008).

Outra visão fortemente marcada do átomo filosófico, encontramos na escola de Epicuro, sobre a questão do peso dos átomos, por considerá-lo a essência elementar e irreduzível na matéria capaz de promover o movimento incessante deles até se direcionar para baixo (VIANA; PORTO, 2007).

No período renascentista, Pierre Gassendi propõe o atomismo a partir da mecânica-corporcular de Newton, sem relações quantitativas (VIANA; PORTO, 2010). Porém, traz compromissos axiológicos teológicas ao indicar ser a causa imaterial e divina. Nesse cenário histórico, emergiram outros atomistas, como o Christian Huygens, Robert Hooke e Robert Boyle. Maar (2008) argumentou que Boyle admitia ser minúsculos 'corpúsculos', de grande espaço vazio quando explicava a atmosfera. Nesse entorno, Viana e Porto (2010) apresentam compromissos epistemológicos presentes em Boyle por considerar o átomo aglomerado de elementos, sem relação com as propriedades visíveis, no entanto, resultante do movimento e da organização entre eles.

Antiatomismo científico

É no energeticismo que o antiatomismo filosófico se sustenta durante o século XIX, uma vez que não reconhece o mecanicismo na termodinâmica química, devido ao forte compromisso epistemológico do instrumentalismo empírico através de métodos matemáticos capazes de dar confiabilidade e rigor para a verdade científica (OKI, 2009). Essa ontologia abstrata sobre a essência da matéria, conforme Pereira e Silva (2018), aproxima-se do idealismo kantiano, organicista e unificado da natureza baseada na filosofia de Friedrich Schelling.

Para Oki (2009), a existência de duas realidades atômicas entre químicos e físicos permite indicar a visão convencionalista ou instrumentalista para os energeticistas em oposição ao realismo ingênuo dos modelos mecânicos de átomo (PEREIRA; SILVA, 2018). Ainda vale destacar a presença do contínuo na matéria, junto as ideias de Joseph Larmor, pois a hipótese do éter ainda permanece como o fluido preenchedor e inerte, desprovido de choques mecânicos, onde o movimento se dá pela energia e o meio (LOPES, 2009).

#### Atomismo científico

O atomismo científico emergiu no século XIX com o surgimento da química moderna. Essas visões são diferenciadas pelas proposições teóricas para o átomo nos moldes do fazer científico para a época, o empírico-indutivista, o positivismo lógico e o racionalismo. A partir da historicidade dos modelos atômicos e suas bases epistêmicas, definimos três visões atomísticas, a saber: clássica, de transição entre a clássica e a quântica, e quântica.

A visão atomística clássica se relaciona diretamente com a proposição da teoria atômica de John Dalton, de onde se determinou a diferença entre mistura e composto (OKI, 2009). Esse modelo reúne um conjunto de compromissos epistemológicos vinculado ao corpuscularismo newtoniano nas combinações químicas, nos pesos atômicos, na solubilidade dos gases, entre outros cujas características emergem o atomismo quantitativo (VIANA, 2007).

Santana, Sarmiento e Wartha (2011) trouxe aproximações imagéticas do modelo de Dalton presentes em livros didáticos como esférica desprovida de

partículas, sem presença de pontinhos ou sinais. Gomes e Oliveira (2007) trataram também de modelos para o átomo e apontaram sendo a menor partícula da matéria, com uma estrutura compacta, maciça e sólida, o que torna indivisível e indestrutível.

O atomismo de transição entre o clássico e o quântico consideramos relações com os átomos particulados, tais como o de Thompson, Rutherford, Nagaoka, Sommerfeld, Nicholson e Böhr. Uma vez que trazem atributos da visão clássica fortemente ligada ao corpuscularismo, determinismo e empirismo lógico, assim como, sobretudo, para os últimos citados a quantização para os fenômenos termodinâmicos e eletrodinâmicos clássicos (LOPES, 2009).

Pereira e Silva (2018) apontam para dois grupos atomísticos no século XIX, o químico, quando se atribuíam pesos relativos aos elementos e proposição de fórmulas para as moléculas, e, o físico, quando se mecanizava as partículas da matéria. Não obstante, com as evidências empíricas lógicas e matemáticas de propriedades como a relação partícula/massa dos elétrons, unificou-se a visão material dada aos átomos, extinguindo-se os vestígios da visão contínua. Acreditamos que isso se deu ao desenvolvimento tecnológico através dos novos artefatos usados para entender a relação dos gases com o eletromagnetismo e o decaimento radiativo.

Oki (2009) destaca ainda a presença da visão maciça, do vazio e de estrutura para o átomo, com corpúsculos esféricos de cargas negativas neutralizando (PEDUZZI, 2008), a massa positiva e distribuídos uniformemente, em anéis coplanares e concêntricos (RAMÍREZ; BADILLA; MIRANDA, 2010).

Com a desintegração radioativa dos elementos, oriundo do átomo de Rutherford, o átomo particulado assume outra estrutura, onde massa praticamente está concentrada numa região minúscula, chamada de núcleo (MEDEIROS, 2005), e os elétrons circundando em formato esférico e deslocamento circular uniforme. Aspecto que didaticamente comparou-se ao modelo do sistema solar. Lopes (2009) ainda ratifica a presença da partícula neutra, proposta posteriormente por Chadwick, cuja existência explicaria a causa de a estabilidade eletrodinâmica e magnética do elétron não colidir com o núcleo.

A estrutura eletrônica dos átomos, explicitada por meio das linhas espectrais, possibilitou atribuir novas visões, principalmente, oriundas do átomo Böhr, consoante Lopes (2009), para a síntese de compostos e elementos, alterando propriedades físicas, como temperatura, pressão, condutividade, emissão e absorção radioativa, spin, salto do *quantum* elementar de ação, frequência e outros a partir de princípios e procedimentos matemáticos da termodinâmica e eletrodinâmica clássica (RAMÍREZ; BADILLO; MIRANDA, 2010).

Então, emerge-se outra estrutura para o átomo, baseado no modelo atômico de Böhr, onde aqui consideramos semiquântico, ancorando-se nos argumentos de Ramírez, Badillo e Miranda (2010), sendo ela: núcleo positivo distante orbitalmente dos elétrons estacionários em movimento circular, de massa muito pequena e velocidades menores que a luz. Para os autores, as limitações das propriedades eletromagnéticas e corpuscular desse átomo são resolúveis com a inclusão da ideia de quantização, originando o princípio da complementariedade.

Dos outros modelos, como o de Nicholson, acrescenta-se a ideia de quantização dos elétrons movimentando-se em anéis; o de Sommerfeld, trazendo a teoria da relatividade no mecanicismo elipsoide dos elétrons, definindo o número de órbitas.

Apesar de todas as contribuições à estrutura atômica, é possível inferir que ele ainda se assemelhava ao modelo atômico de Dalton, nos compromissos epistemológicos mecânico-corpuscular e imagético, e, se distanciava pelos vínculos às teorias ondulatória e termodinâmica clássica da luz serem análogas aos fenômenos do som quando se explicam os espectros.

Assim, a mudança da visão contínua, corpuscularista e fenomenológica da matéria se deu quando se assumiu a visão dualística para ela, a partir do entendimento de como os elétrons ocupavam diferentes níveis de energia dentro do átomo, sendo atribuídos a eles inteiros fixos em cada órbita que ocupam, propriedade que está ligada ao comportamento ondulatório de vibração e interferência. Passando a serem associadas a ondas de matéria como destacou Einstein na explicação do fenômeno do efeito fotoelétrico, admitindo a dualidade onda-partícula para a luz anteriormente.

Körhasan e Wang (2016) apresentaram quatro modelos para o espectro atômico, sendo eles: o modelo científico do espectro atômico (MCEA), o modelo científico primitivo do espectro atômico (MCPEA), o modelo sem fóton (MSF) e o modelo orbital (MO).

Aproximamos eles da visão atomística de transição entre o clássico e o quântico. O MCEA pode ser explicado pela ligação do elétron (um elétron no átomo), os níveis discretos de energia (os níveis de energia de um elétron no átomo), as linhas espectrais (as linhas coloridas em um espectro de emissão ou escuras em um de absorção), a energia de um fóton (a energia de um fóton com um determinado comprimento de onda) e a transição eletrônica (a mudança de um elétron em um dado estado quântico para outro no átomo).

Enquanto o MCPEA nos parece próximo às ideias do átomo de transição entre o clássico e o quântico, como o de Böhr, por apresentar a energia do fóton, as linhas espectrais e os níveis de energia discreta. O MSF contém apenas os dois últimos do MCPEA, divergindo pela ligação do elétron; o MO se diferencia do anterior somente por tratar o orbital como local onde os elétrons ficam nos átomos ligados eletronicamente. Embora fale das linhas espectrais, não dimensiona a energia do fóton para explicar. O que nos parece remeter aproximações com o modelo de Thomson.

Santana, Sarmiento e Wartha (2011) investigaram os modelos de Thomson e Rutherford nas imagens de livros didáticos, apresentando as seguintes características nessa ordem: esfera uniforme constituída de cargas e partículas de prótons e elétrons; com núcleo, eletrosfera uniforme e partículas. E, também aspectos escritos e simbólicos de cargas (+) e (-), e partículas (p), (e) e (n).

França, Marcondes e Carmo (2009) trouxeram características atribuídas a estrutura atômica relacionadas as interações eletrostáticas entre os prótons do núcleo e os diferentes níveis energéticos dos elétrons, como as partículas estarem “mais ou menos atraídas entre si”, podendo ocorrer a saída ou a entrada de partículas (elétrons) nessa estrutura, constituindo o íon; o caráter descontínuo da matéria e suas entidades constituintes; o modelo atômico baseado na ideia de orbital e as órbitas sendo entidades independentes, nas quais os elétrons estariam girando ao seu redor, como corpúsculos em movimento, enquanto que o núcleo estaria em repouso; quanto às partículas

atômicas, consideram não ser possível separar os elétrons do átomo; e a neutralidade do átomo é vista pelo fato deste ser carregado positiva e negativamente, também atrelada a regra do octeto.

No estudo de Gomes e Oliveira (2007) encontramos visões atomísticas que transitam entre o clássico e o quântico como a eletrosfera é a região do átomo onde se encontram os elétrons; é possível que dentro de uma mesma camada os elétrons 'rodem' um para cada lado; a eletrosfera é composta de camadas energéticas; é impossível que os elétrons 'rodem' uma para cada lado, pois eles acabariam se chocando; as camadas da eletrosfera existem e funcionam de maneira semelhante a um trilho de trem, por onde os elétrons circulam; cada camada da eletrosfera suporta uma quantidade máxima de elétrons, mas nunca pode ficar vazia; cada camada da eletrosfera funciona como uma gaveta, ou seja, a hora em que uma delas fica cheia, ela se fecha e abre-se outra gaveta.

O atomismo quântico origina-se em um contexto de dilemas e contradições filosóficas acerca da estrutura e propriedades das partículas. Aqui nos interessa para o ensino de química trazer aspectos que configuraram o átomo quântico. Pois, sabemos que muito mais se tem a debater quando se trata da existência das partículas subatômicas. Outrora, como buscamos subsídios para caracterizar compromissos que permeiam a zona de átomo quântico, nos termos da teoria dos perfis conceituais, não nos aprofundaremos no que tange à física das partículas, atômica e nuclear.

Sendo assim, alguns pilares nos foi apresentado por Aquino Júnior (2013), como compreensão epistemológica do modelo atômico quântico: 1 – o *quantum* elementar de ação; 2 – a dualidade onda-partícula ou complementariedade; 3 – o princípio da incerteza ou indeterminismo; a equação de onda de Schrödinger; 5 – a interpretação física da função onda ou densidade probabilística.

A ontologia dualística apresentada por De Broglie, quanto ao comportamento dual da matéria, trouxe o atributo de partícula e onda indissociável, há depender das quantidades fixas de energia e dos estados de polarização do sistema eletrônico o qual era caótico e contraditório.

Para Schrödinger, o átomo de Böhr aplicava-se somente aos espectros do átomo de hidrogênio. Nesse sentido, a coexistência de duas mecânicas, a

clássica e a quântica, limitava o entendimento de especificidades das falhas do tempo e do estado em que se dão as transições eletrônicas. O que para Einstein se deve a teoria postular a existência das órbitas como uma realidade observável, visto que Heisenberg acreditava na mecânica matricial como fundamento dessa propriedade (RAMÍREZ; BADILLA; MIRANDA, 2010).

Hermoso e Ornellas (2009) trazem compromissos epistemológicos da equação de onda de Schrödinger, como contraintuitiva, não usual e não imagética. Além desses, o formalismo matemático, cria uma representação das vibrações das partículas em um espaço numérico imaginário, conhecido por espaço de fases (CRISAFULLI, 2011).

Crisafulli (2011) acredita que as contradições promoveram a mudança qualitativa das explicações dadas a realidade física do átomo, no tocante ao contínuo/descontínuo e ao imagético/não imagético, originada da mecânica relativista e quântica. Pois, somente assim se eliminaria totalmente os vestígios corpusculares e mecanicistas determinísticos do modelo atômico como algo semelhante à realidade fenomenológica.

Para Meneses (2008), a visão dualística possibilitou atribuir uma natureza dos sistemas físicos subatômicos por meio da ideia de orbital, fortemente marcada pela visão probabilística de Max Born, de comportamento quântico e sem estrutura determinada. Como também, com o princípio da incerteza ou indeterminismo da matéria e a função de onda seria possível superar visões da mecânica clássica para o átomo, uma vez que não se poderia medir dois pares de entidades quânticas, identificando a posição e o momento do elétron ao mesmo tempo.

Em Medeiros (2008), encontramos o compromisso ontológico monista através das ideias de Heisenberg ao unificar a visão relativística e quântica, como uma unidade ontológica da realidade, isto é, tudo é um.

Outro aspecto importante é “que a casualidade presente na base da cognoscibilidade científica. Sem a possibilidade de estabelecer uma conexão necessária, entre fenômenos, não há ciência. Assim, falar de ciência implica falar de relações causais inter fenomênicas” (MENESES, 2008, p. 211).

É nesse contexto que Meneses (2008) considera a linguagem *in fieri* quando nos referirmos aos sistemas quânticos, vinculando ao modelo atômico quântico através da dualidade onda-partícula, da probabilidade da equação de

onda e do vazio é relativo. Disso, infere-se compromissos epistemológicos para o átomo quântico, os quais aproximamos das categorias indeterminada, probabilística, dualística, contra intuição, vazio relativo e de energia radiativa fixa.

Silva e Amaral (2019) apontaram para um compromisso axiológico pragmatista de Putnam para o atomismo científico, denominado de realismo científico interno, como pontua Almeida (2019), ao aproximarmos estes modelos científicos do átomo como sendo uma realidade pragmática descrita pelo indivíduo, em uma relação mútua da pessoa ou comunidade que utiliza na realidade da forma que compreende. Portanto, o átomo seria um ente existente dentro da realidade de uso da comunidade científica.

O compromisso da pragmática funcionalista se observa nesse estudo considerando o átomo como algo incrível. Isso nos permitiu entender por meio de estudos da linguística, relacionando a sintaxe, semântica e a pragmática funcional de Dick. Uma vez que derivam de estudos cognitivistas, como o de Halliday, ao considerarmos a gramática sistêmico-funcional e o socio culturalismo permeando essa interlocução discursiva (NEVES, 2017).

A pragmática funcionalista defendida por Dick (1997) é atribuída pela predicação do sujeito dada ao átomo como algo “incrível”, entendendo por predicação sintática esse ente semântico-pragmático, o motivo e o direcionamento do ato da linguagem expressa pela informação e organização da textualidade considerada a pluralidade de teorias atômicas como sendo útil em diversas possibilidades de explicar determinados experimentos que outras.

A seguir, apontamos conclusões apresentadas na construção dessa pesquisa e análise dos dados aqui descritos para a comunidade em que ele se insere.

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

Concluimos a defesa de nossa tese nesta pesquisa de dissertação da heterogeneidade do pensamento e da fala sobre o conceito de átomo e seus processos de conceituação podem ser construídos e mobilizados em um estudo de caso histórico envolvendo a queima dos fogos de artifício a partir das zonas do perfil conceitual de átomo, propostas por Mortimer (2000).

Os produtos desse estudo foram considerados complementares e inovadores à teoria dos perfis conceituais. Primeiro, o planejamento de ensino e aprendizagem do estudo de caso histórico de Stinner *et al.* (2003) articulado às zonas do perfil conceitual de átomo proposto por Mortimer (2000) e ampliado pelo aprofundamento histórico da transição de mundo vitalista para a mecanicista por Murta, Silva e Araújo (2013).

Disso, considerou-se o conceito de átomo a ideia central unificadora e o fenômeno da queima dos fogos de artifício como o problema de amplo contexto cuja estruturação se relacionou aos três níveis de investigação científica para desenvolver o ECH. Sendo o primeiro e o segundo denominados, respectivamente, de fundante e de pesquisa, como a estruturação das zonas na TPC, e o terceiro denominado de pedagógico enquanto planejamento e aplicação do processo de ensino e aprendizagem envolvendo o contexto histórico, as ideias e experiências principais, e as implicações para o letramento científico e o ensino de ciências.

Sobre a análise da emergência de zonas do PCA durante o ECH, observamos diversos modos de pensar e formas de falar híbridas que parecem remeter às dificuldades de aprendizagem quando se constrói o pensamento conceitual, uma vez que a cultura cotidiana traz fortes valores e crenças. Isso ratifica a multiculturalidade e vocalidade presentes e inerentes à sala de aula defendidas na TPC.

Na vivência do ECH, destaca-se a mobilização das zonas do PCA, sobretudo, a da zona de átomo quântico, fortemente marcada no contexto de ensino em que se discutia historicamente a queima dos fogos de artifício e o modelo atômico. Além de ter possibilitado a emergência de outras visões, como a animista, generalista, a que transita entre o clássico e o quântico, a

pragmática do realismo interno de Putnam, do funcionalismo de Dick e da estética social de Dewey.

No conjunto de dados oriundos da literatura, do questionário e da aplicação do ECH, considerando dois momentos dele, como descritos no capítulo anterior, propôs a primeira matriz semântica do PCA, com duas naturezas-culturas, a atomística e antiatomística, voltadas a dois temas epistemológicos, o filosófico e o científico, vinculando-os aos compromissos epistemológicos, ontológicos e axiológicos os quais foram categorizados conforme as visões atribuídas a realidade atômica ou não, como descritos nos modos de pensar e formas de falar anteriormente.

Acreditamos que o viés histórico dado ao conceito no ensino de química/ciências para a evolução conceitual do PCA possibilitou também propor uma etapa anterior aos temas epistemológicos de construção da matriz semântica como sendo a definição das naturezas-culturas do conceito decorrentes da objetivação do psiquismo a partir da atividade humana, compreendida, nos termos de Vygotsky, “ao mesmo tempo autônomos e mutuamente constitutivos: se a natureza, essencialmente histórica para os seres humanos, fornece a base para o desenvolvimento cultural, este último redimensiona as faculdades herdadas, tornando-as conscientes” (NUENBERG; ZANELA, 2003, p. 86).

Foi possível compreender que a heterogeneidade do pensamento e da fala dada ao conceito átomo pode ser mais enriquecida por meio da vivência do ECH ao promover a pesquisa enquanto princípio didático norteador, a argumentação fundamentada e compartilhada em um ambiente potencialmente engajador da imaginação criadora de sujeitos epistêmicos que assumem um espectro de naturezas-culturas e fazem uso delas conforme os valores, significações e sentidos que atribuem em contexto específicos de estudo, como o da queima dos fogos de artifício, fortemente vivenciado em nossa cultura brasileira, sobretudo, nordestina, em momentos de festejos juninos e de final de ano.

Do exposto no estudo, colocamos para a comunidade do ensino de química/ciências a necessidade de desdobrar outras pesquisas na direção de ampliação e/ou revisitação das zonas do PCA a partir da matriz semântica do conceito de átomo aqui proposta, bem como posteriormente reformulada ou reestruturada.

Além disso, abre espaço para a estruturação do planejamento de ensino e aprendizagem dos PC, tendo em vista que se faz necessário articular a construção da estratégia com as zonas constituídas para determinado conceito perfilado e assim enriquecer ou promover a mudança dos perfis conceituais e a tomada de consciência deles por partes dos indivíduos.

Por fim, não menos importante, as repercussões sobre a formação inicial e continuada de professores de química/ciências, mais preparados para o exercício profissional qualificado e investigativo crítico-reflexivo de sua própria prática.

## REFERÊNCIAS

ALFONSO-GOLDFARB, A. M. **Da alquimia à Química**. São Paulo: Nova Stella, 1987.

ALFONSO-GOLDFARB, A. M.; FERRAZ, M. H. M.; BELTRAN, M. H. R. A historiografia contemporânea e as ciências da matéria: uma longa rota cheia de percalços. *In*: ALFONSO-GOLDFARB, A. M.; BELTRAN, M. H. R. (Ed.). **Escrevendo a História da Ciência**: tendências, propostas e discussões historiográficas. São Paulo: Educ/ Livraria da Física/ Fapesp, 2004, p. 49–73.

ALMEIDA, S. O. de. O realismo de Hilary Putnam. **Kínesis**, v. XI, nº 28, julho, p.327-336, 2019.

AMARAL, E. M. R. do. Perfil conceitual para a segunda lei da termodinâmica aplicada às transformações físico-químicas: a dinâmica discursiva em uma sala de aula de química do ensino médio. 295 f. **Tese** (Doutorado em Educação). Faculdade de Educação. Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2004.

AMARAL, E. M. R.; MORTIMER, E. F. Uma Proposta de Perfil Conceitual para o Conceito de Calor. **Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências**. Belo Horizonte. v. 1, n. 3, p. 1-16, 2001.

AMARAL, E. M. R.; MORTIMER, E. F. Uma Metodologia para a Análise da Dinâmica entre Zonas de um Perfil Conceitual no Discurso da Sala de Aula. *In*: SANTOS, F. M. T.; GRECA, I. M. **A Pesquisa em Ensino de Ciências no Brasil e suas Metodologias**. 2ª Ed. Ijuí: Ed. Unijuí, 2011, p. 239-296.

AQUINO JÚNIOR, J. L. M. Modelo Atômico Quântico: uma Alternativa para Introdução no Ensino Médio. 99 f. **Dissertação** (Mestrado em Ensino de Ciências Naturais), Programa de Pós-Graduação em Ensino de Ciências Naturais, Universidade Federal de Mato Grosso, Cuiabá, 2013.

ARAÚJO, A. O. O perfil conceitual de calor e sua utilização por comunidades situadas. 2014. 223 f. **Tese** (Doutorado em Educação), Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2014.

ARROIO, A.; HONÓRIO, K. M.; WEBER, K. C.; MELLO, P. H. de; SILVA, A. B. F. da. O Ensino de Química Quântica e o Computador na Perspectiva de Projetos. **Química Nova**, v. 28, n. 2, p. 360-363, 2005.

BACHELARD, G. **A Filosofia do Não (OS PENSADORES)**. São Paulo: Abril Cultural, 1934/1984.

BACHELARD, G. **A formação do espírito científico**. Trad. Estela dos Santos Abreu. Rio de Janeiro: Contraponto Editora, 1938/1996.

BAKHTIN, M. M. **Speech genres & other late essays**. Trans. By Vem W. McGee. Austin: University of Texas Press (Ed. By Caryl Emerson and Michael Holquist.), 1986.

BAKHTIN, M. M. **Marxismo e filosofia da linguagem: problemas fundamentais do método sociológico na ciência da linguagem**. 12<sup>a</sup> ed. São Paulo: HUCITEC, 2006.

BALDINATO, J. B.; PORTO, P. A. Michael Faraday e a história da química de uma vela: um estudo de caso sobre a didática da ciência. **Química Nova na Escola**, n. 30, p. 16-23, 2008.

BALDINATO, J. B.; PORTO, P. A. 20 Anos de QNEsc: Uma História, Muitas Histórias. **Química Nova na Escola**, v. 37, n. especial 2, p. 166-171, 2015.

BELTRAN, M. H. R. História da Química e Ensino: estabelecendo interfaces entre campos interdisciplinares. **Abakós**, Belo Horizonte, v. 1, n. 2, p. 67–77, 2013.

BELTRAN, M. H. R.; SAITO, F. História da ciência, epistemologia e ensino: uma proposta para atualizar esse diálogo. *In*: MARTINS, I.; GIORDAN, M. (Ed.). **Atas... do VIII ENPEC**. Campinas: ABRAPEC, 2012.

BEZERRA, B. H. S.; AMARAL, E. M. R. do. Identificando Compromissos Epistemológicos, Ontológicos e Axiológicos em Falas de Licenciandos Quando Discutem uma Questão Socio científica. **Quím. nova esc.**, v. 41, nº 1, fev., p. 41-54, 2019.

BRASIL. Ministério da Educação. Secretária de Educação Média e Tecnológica. **PCN+ Ensino Médio: Orientações educacionais complementares aos Parâmetros Curriculares Nacionais. Ciências da Natureza, Matemática e suas Tecnologias.** Brasília: SEMTEC, 2002.

CACHAPUZ, A.; GIL-PEREZ, D.; CARVALHO, A. M. P. de; PRAIA, J.; VILCHES, A. (org.) **A Necessária Renovação do Ensino das Ciências.** São Paulo, Ed. Cortez, 2005.

CALLEGARIO, L. J.; HYGINO, C. B.; ALVES, V. L. O.; LUNA, F. J.; LINHARES, M. P. A História da Ciências no Ensino de Química: um Revisão. **Revista Virtual de Química**, v. 7, n. 3, p. 977-991, 2015.

CAMUS, A. Pensador. Disponível em: <<https://pensador.uol.com.br/frase/NTIxNA/>>. Acesso em: 20 mai. 2016.

CHASSOT, A. **A ciência através dos tempos.** São Paulo: Moderna, 1994.

CHALMERS, A. F. O que é Ciência, afinal? São Paulo: Brasiliense, 1993.

CHI, M. T. H. Conceptual change within and across ontological categories: examples from learning and Discovery in Science. *In*: NOVAK, J. (Ed.). **Proceedings of the 2nd international seminar misconceptions and educational strategies in science and mathematics.** Ithaca, New York: Cornell University Press, 3<sup>a</sup> ed., p. 84-97, 1991.

COSTA, M. B. da S. O Perfil Conceitual de Equilíbrio e suas contribuições para o ensino de Equilíbrio Químico. 43 f. **Dissertação** (Mestrado em Química). Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia, Jéqueie, 2019.

COUTINHO, F. A. A construção de um perfil conceitual de vida. 193 f. **Tese** (Doutorado em Educação). Universidade Federal de Minas Gerais – Faculdade de Educação. 2005.

COUTINHO, F. A.; EL-HANI, C. N.; MORTIMER, E. F. Building a Profile for the Biological Concept of Life. *In*: MORTIMER, E. F.; EL-HANI, C. N. (Ed.) **Conceptual Profiles: A Theory of Teaching and Learning Scientific Concepts**. Contemporary Trends and Issues in Science Education. New York London: Ed. Springer, v. 42, 2014, p. 115-142.

CRISAFULLI, F. El Segundo Salto Cuántico. **Episteme NS**, v. 31, n. 1, p. 41-54, 2011.

DELIZOICOV, D.; ANGOTTI, J. A.; PERNAMBUCO, M. M. **Ensino de ciências fundamentos e métodos**. 4 ed. São Paulo: Cortez, 2011.

DOMÍNGUEZ, G. **Os dez obstáculos epistemológicos de Bachelard** – Resumo. 2016. Disponível em: <<https://psicoativo.com/2016/04/gaston-bachelard-e-os-obstaculos-epistemologicos-resumo.html>> Acesso em: 20 mai. 2021.

FALCÃO, C. M. de B. O PRAGMATISMO ESTÉTICO E SOCIAL DE JOHN DEWEY. **Revista Acadêmica**, v. 85, n. 1, p. 278-315, 2013.

FRANÇA, A. da. C. G.; MARCONDES, M. E. R.; CARMO, M. P. do. Estrutura Atômica e Formação dos Íons: Uma Análise das Ideias dos Alunos do 3º Ano do Ensino Médio. **Química Nova na Escola**, v. 31, n. 4, p. 275-282, 2009.

FREITAS, T. V. de. Fogos de Artifício – História, Ciência e Sociedade. 51 f. **Monografia** (Trabalho de Conclusão de Curso). Universidade de Brasília, Instituto de Química, Brasília – DF, 2012.

FUENTES, A. M.; PERROTA, M. T.; DIMA, G.; GUTIÉRREZ, E.; CAPUANO, V. e FOLLARI, B. Estructura atômica: análisis y estudio de las ideas de los estudiantes (8º de EGB). **Enseñanza de las Ciencias**, n. 21, v. 1, p. 123-134, 2003.

GALLIAZI, M. C.; OLIVEIRA, L. R. de.; MONCKS, M. D.; GONÇALVES, M. G. V. Perfis Conceituais sobre Átomo. **Atas...** I Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências. Rio Grande do Sul, Brasil, 1997.

GIARETTON, F. L.; SZYMANSKI, M. L. S. Atividade: Conceito chave da práxis pedagógica. XI Congresso Nacional de Educação. Curitiba, 2013. Disponível em: <[https://educere.bruc.com.br/arquivo/pdf2013/7543\\_5188.pdf](https://educere.bruc.com.br/arquivo/pdf2013/7543_5188.pdf)>. Acesso em: 30 jan. 2020.

GOMES, H. J. P.; OLIVEIRA, O. B. de. Obstáculos Epistemológicos no Ensino de Ciências: um estudo sobre suas influências nas concepções de átomo. **Ciência & Cognição**, v. 12, p. 96 – 109, 2007.

GONÇALVES, R. C. B. **Caio Zip, o Viajante do Tempo, em: Einstein, Picasso, Agatha e Chaplin – como explicar a teoria da relatividade, cubismo, viagem no tempo, e desmascarar um assassino.** Ed. Viajante do Tempo, Rio de Janeiro, 2010.

GRISNPUN, M. P. Educação Tecnológica. *In: Educação tecnológica, desafios e perspectivas.* São Paulo: Cortez, 2001, p. 25-74.

HERMOSO, W.; ORNELLAS, F. R. Modelos da Química Quântica no Espaço de Momento: Diferentes Representações de um mesmo Sistema. **Química Nova**, v. 32, n. 9, p. 2487-2491, 2009.

HYGINO, C. B.; SOUZA, N. S.; LINHARES, M. P. Reflexões sobre a natureza da ciência em aulas de física: estudo de um episódio histórico do Brasil colonial. **Experiências em Ensino de Ciências**, v. 7, n. 2, 2012.

JOHNSON, W. FIREWORKS AND FIREMASTERS OF ENGLAND, 1662-1856. **Int. J. Mech. ScL**, v. 36, n. 11, p. 1061-1067, 1994.

JUSTI, R. S. A afinidade entre as substâncias pode explicar as reações químicas? **Química Nova na Escola**, n. 7, p. 26-29, 1998.

KOMINSKY, L.; GIORDAN, M. Visões sobre Ciências e sobre o Cientista entre Estudantes do Ensino Médio. **Química Nova na Escola**, v. 15, p. 11-18, 2002.

KÖRHASAN, N. D.; WANG, L. Students' mental models of atomic spectra. **Chem. Educ. Res. Pract.**, v. 17, p. 743—755, 2016.

KUHN, T. S. **A estrutura das revoluções científicas.** 9ª ed. Tradução Beatriz V. Boeira e Nelson Boeira, São Paulo, Perspectiva, 2007.

LEAL, R. C; MOITA NETO, J. M. A Química Quântica na Compreensão de Teorias da Química Orgânica. **Química Nova**, v. 33, n. 5, p. 1211-1215, 2010.

LOBO, S. F. O Ensino de Química e a Formação do Educador Químico, sob o Olhar Bachelardiano. **Ciência e Educação**, v. 14, n. 1, p. 89-100, 2007.

LOPES, C. V. M. Modelos Atômicos no Início do Século XX: Da Física Clássica à Introdução da Teoria Quântica. **Tese** (Doutorado em História da Ciência). Programa de Pós-Graduação em História da Ciência da Pontifícia Universidade Católica de São Paulo (PUC-SP), 2009.

LOPES, R. O. A evolução do perfil conceitual de átomo por meio de atividades experimentais espectroscópicas. 153 f. **Dissertação** (mestrado) – Universidade Federal de Santa Maria, Centro de Ciências Naturais e Exatas, Programa de pós-graduação em Educação em Ciências: Química da Vida e Saúde, RS, 2017.

MAAR, J. H. **História da Química – Uma História da Ciência da Matéria – Primeira Parte**: Dos Primórdios a Lavoisier. 2ª ed. Rev e Amp, Florianópolis, Conceito Editorial, 2008.

MAAR, J. H. **História da Química: uma História da Ciência da Matéria – Segunda Parte**: De Lavoisier ao Sistema Periódico. 1ª ed, Florianópolis, Editora Papa-Livro, 2011.

MACHADO, S. P.; PINTO, A. C. A. Química e a Arte da Pirotecnia. **CIÊNCIA HOJE**, v. 48, n. 288, p. 26-31, 2011.

MARTINS, A. F. P. História e filosofia da ciência no ensino: há muitas pedras nesse caminho. **Cad. Bras. Ens. Fís.**, v. 24, n. 1, p. 112-131, 2007.

MATOS, F. I. de; KIOURANIS, N. M. M. A química dos fogos de artifício: obstáculos epistemológicos. **Anais...** do 24º Encontro anual de Iniciação Científica (XXIV EAIC) e do 4º Encontro anual de Iniciação Científica Júnior (IV EAICJR) da Universidade Estadual de Maringá-PR, set., p. 1-4, 2015.

MATTEWS, M. R. História, filosofia e ensino de ciências: a tendência atual de reaproximação. **Caderno Catarinense de Ensino de Física**, Florianópolis, v. 12, n. 3, p. 164-214, 1995.

MEDEIROS, A. M. A unidade ontológica do mundo em Werner Heisenberg. 110 f. **Dissertação** (Mestrado em Filosofia). Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2008.

MEDEIROS, T. R. de. Entraves ao Desenvolvimento da Tecnologia Nuclear no Brasil: Dos Primórdios da Era Atômica ao Acordo Nuclear Brasil-Alemanha. **Dissertação** (Mestrado em Economia). Departamento de Ciências Econômicas. Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte, 2005.

MELO, M. R.; LIMA NETO, E. G. de. Dificuldades de Ensino e Aprendizagem dos Modelos Atômicos em Química. **Química Nova na Escola**. v. 35, n. 2, mai., p. 112-122, 2013.

MENDES NETTO, C.; TEIXEIRA, K. K. R.; SOUZA, M. C. R. F. de; BERNARDES FARIA CAMPOS, R. B. F. Cenários da educação brasileira no contexto da pandemia da covid-19: revisão sistemática de literatura. **Teoria e Prática da Educação**, v. 24, n. 3, p. 03-25, 2021.

MENESES, R. D. B. de. A Probabilidade segundo Max Born: da Mecânica Quântica a Filosofia. **Eikasia. Rev. de Filosofia**, ano 3, n. 19, p. 1-25, 2008.

MENEZES, V. M. S. Perfil conceitual a respeito da concepção atomística para os estados físicos da matéria de um grupo de alunos da Educação de Jovens e Adultos - EJA. 82 f. **Dissertação** (Mestrado em Ensino de Ciências e Matemática) - Universidade Federal de Sergipe, São Cristóvão, SE, 2019.

MENEZES, V. M. S.; MACHADO, S. M. F.; SILVA, E. L. da. Perfil conceitual a respeito da concepção atomística dos estados físicos da matéria de um grupo de alunos da educação de jovens e adultos – EJA. **Revista de Ensino de Ciências e Matemática**, [S. l.], v. 11, n. 5, p. 223–242, 2020.

MORTIMER, E. F. Evolução do atomismo em sala de aula; mudança de perfis conceituais. 281 f. **Tese** (Doutorado em Educação). Faculdade de Educação da Universidade de São Paulo, 1994.

MORTIMER, E. F. Concepção Atomistas dos Estudantes. **Química Nova na Escola**, n. 1, p. 23-26, 1995.

MORTIMER, E. F. Construtivismo, Mudança Conceitual e Ensino de Ciências: para onde vamos? **Investigações em Ensino de Ciências**. Porto Alegre, v. 1, p. 20-39, 1996.

MORTIMER, E. F. **Linguagem e Formação de Conceitos no Ensino de Ciências**. Belo Horizonte: Ed. UFMG, 2000, 383 p.

MORTIMER, E. F.; SCOTT, P. Atividade Discursiva nas Salas de Aulas de Ciências: uma ferramenta sociocultural para analisar e planejar o ensino. **Investigações no Ensino de Ciências**, Porto Alegre, v. 7, n. 3, p. 283-306, 2002.

MORTIMER, E. F. Beyond chemical boundaries: a conceptual profile for molecule and molecular structure. **Química Nova**, v. 20, n. 2, p. 200-207, 1997.

MORTIMER, E. F.; AMARAL, L. O. F. A conceptual profile for molecule and molecular structure *In: Ars Mutandi: Issues in Philosophy and History of Chemistry*. 1 ed. Leipzig: Leipziger Universitäts Verlag, v. único, p. 89-101, 1999.

MORTIMER, E. F.; SCOTT, P.; EL-HANI, C. N. Bases Teóricas e Epistemológicas da Abordagem dos Perfis Conceituais. **Tecné, Episteme y Didaxis**, nº 30, p. 111 – 125, 2011.

MORTIMER, E. F.; EL-HANI, C. N. (Ed.) **Conceptual Profiles: A Theory of Teaching and Learning Scientific Concepts**. Contemporary Trends and Issues in Science Education. New York London: Ed. Springer, v. 42, 2014.

MORTIMER, E. F.; AMARAL, L. O. F. Contributions of the Sociocultural Domain to Build a Conceptual Profile Model for Molecule and Molecular Structure. *In: E. F. Mortimer & C. N. El-Hani, (Eds.). Conceptual Profiles: A Theory of Teaching and Learning Scientific Concepts*. New York: Springer. 2014, p. 103-114.

MORTIMER, E. F.; SCOTT, P.; AMARAL, E. M. R. do.; EL-HANI, C. N. Conceptual Profiles: Theoretical-Methodological Bases of a Research Program. *In*: MORTIMER, E. F.; EL-HANI, C. N. (Ed.) **Conceptual Profiles**: A Theory of Teaching and Learning Scientific Concepts. Contemporary Trends and Issues in Science Education. New York London: Ed. Springer, v. 42, 2014, p. 3-34.

MURTA, M. M.; SILVA, J. V. S. da; ARAÚJO, M. C. P. de. Transição do Vitalismo para a Visão de Mundo Mecanicista: contribuições para o Perfil Conceitual de Átomo. **Atas...** do IX Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências – IX ENPEC, Águas de Lindóia, SP, p. 1-8, 2013. Disponível em: <<http://www.nutes.ufrj.br/abrapec/ixenpec/atas/resumos/R1388-1.pdf>> Acesso em: 10 nov. 2014.

NEVES, M. H. de M. A interface sintaxe, semântica e pragmática no funcionalismo. DELTA, v. 33, n. 1, p. 25-43, 2017.

NUERNBERG, A. H.; ZANELLA, A. V. A relação natureza e cultura: O debate antropológico e as contribuições de Vygotski. **Interação em Psicologia**, v. 7, n. 2, p. 81-89, 2003.

OKI, M. C. M.; MORADILLO, E. F. O ensino da História da Química: contribuindo para a compreensão da história da ciência. **Revista Ciência e Educação**, v.14, n.1, p. 67-88, 2008.

OKI, M. da C. M. Controvérsias sobre o atomismo no século XIX. **Quim. Nova**, v. 32, n. 4, p. 1072-1082, 2009.

OLIVEIRA, M. M. de. **Como Fazer Pesquisa Qualitativa**. 4ª Ed. Petrópolis, RJ. Ed. Vozes, 2012.

OLIVEIRA, A. F. **Introdução aos Novos Médias**. 2015. Disponível em: <<https://digartmedia.wordpress.com/2015/03/25/e-ja-dizia-o-mcluhan/>> Acesso em: 05 fev. 2017.

OLIVEIRA, M. K. de. **Vygotsky: aprendizado e desenvolvimento – um aspecto sócio-histórico**. 4ª ed. São Paulo: Scipione, 2008.

OSTERMANN, F. **História e filosofia da ciência no ensino de física**. Mimeo, Porto Alegre: UFRGS, 2000.

PEDUZZI, L. O. Q. As concepções espontâneas, a resolução de problemas e a história e filosofia da ciência em um curso de mecânica. **Tese** (Doutorado), Florianópolis: UFSC, 1998.

PEDUZZI, L. O. Q. **Do átomo grego ao átomo de Bohr**. Publicação interna. Departamento de Física, Universidade Federal de Santa Catarina, 2008.

PEREIRA, L. S.; SILVA, J. L. P. B. Uma História do Antiatomismo: Possibilidades para o Ensino de Química. **Quím. nova esc.**, v. 40, n. 1, p. 19-24, 2018.

PEREIRA, R. R. Perfil conceitual de molécula: heterogeneidade de modos de pensar e falar no ensino superior de química. 178 f. **Tese** (Doutorado em Educação). Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2020.

PEREIRA, J. D. Uma proposta de ensino de operações com inteiros fundamentada em Davydov. 31 f. **Monografia**. Escola de Ciências Exatas e da Computação, Pontifícia Universidade Católica de Goiás (PUC – GO), Goiânia, 2020.

PRAIA, J.; CACHAPUZ, A.; GIL-PÉREZ, D. Problema, teoria e observação em ciência: para uma reorientação epistemológica da educação em ciência. **Ciência & Educação**, v. 8, n. 1, p.127-145, 2002.

PONZIO, A. Pensamento e Palavra em Lev S. Vigotski. **Fórum Linguístico**, Florianópolis, v. 13, n. 4, p. 1550-1558, 2016.

PORTELA, S. I. C. Uso de casos históricos no ensino de física: exemplo em torno da temática do horror da natureza do vácuo. **Dissertação** (Mestrado em Ensino de Ciências) – Programa de Pós-Graduação em Ensino de Ciências. Brasília: UnB, 2006.

PORTELA, S. I. C. A formação inicial de professores e a cultura científica na educação básica: problematizando a prática docente na interface das

disciplinas Estágio Supervisionado e História da Física. 263 f. **Tese** (Doutorado em Ensino de Ciências). Programa de Pós-Graduação em Educação para Ciência. Universidade Estadual Paulista. Faculdade de Ciências, Bauru, 2014.

PORTO, P. A. História e Filosofia da Ciência no Ensino de Química: em busca dos objetivos educacionais da atualidade. *In*: SANTOS, W. L. P. dos.; MALDANER, O. A. (orgs.), **Ensino de Química em Foco**. 2ª reimpressão. Ijuí: Editora Unijuí, 2010, p. 159 – 180.

POSNER, G. J.; STRIKE, K. A.; HEWSON, P. W.; GERTZOG, W. A. Accomodation of a scientific conception: toward a theory of conceptual change. **Science Education**, v. 66, n. 2, p. 211-227, 1982.

RAMIREZ, J. E. M.; BADILLO, R. G.; MIRANDA, R. P. El Modelo SemiCuántico de Bohr em los Libros de Textos. **Ciência & Educação**, v. 16, n. 3, p. 611-629, 2010.

REIS, E. M; LINHARES, M. P. Estudos de caso como estratégia de ensino na formação de professores de Física. **Ciência & Educação**, Bauru, v. 14, n. 3, p. 555-574, 2008.

REIS, V. P. G. S.; SEPULVIDA, C de A. S. e; EL-HANI, C. N. Um modelo de perfil conceitual de herança biológica. **Atas...** do XI Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências – XI ENPEC Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, SC, 9 p., 2017. Disponível em: <<http://www.abrapecnet.org.br/enpec/xi-enpec/anais/resumos/R0486-1.pdf>>. Acesso em: 02 set. 2020.

REIS, V. P. G. S. Um perfil conceitual de herança biológica: investigando dimensões epistemológicas e axiológicas de significação do conceito no contexto do ensino médio de genética. 251 f. **Tese** (Doutorado em Ensino, Filosofia e História das Ciências). Universidade Federal da Bahia e Universidade Estadual de Feira de Santana, Salvador, 2018.

ROSA, C. W.; ROSA, A. B. Discutindo as concepções epistemológicas a partir da metodologia utilizada no laboratório didático de Física. **Revista Ibero-americana de Educação**, v. 52, n. 6, p. 1-11, 2010.

ROSA, K.; PENIDO, M. C. M. A Inserção de História e Filosofia da Ciência no Ensino de Ciências e a Formação de Professores de Física. **Atas...** do V Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências – V ENPEC, Bauru – SP, p. 1-10, 2005. Disponível em: <<http://www.nutes.ufrj.br/abrapec/venpec/conteudo/artigos/1/doc/p479.doc>> Acesso em: 30 jun. 2014.

RODRIGUES E SILVA, F. A. O perfil conceitual de vida: ampliando as ferramentas metodológicas para sua investigação. 161 f. **Dissertação** (Mestrado em Educação). Faculdade de Educação, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2006.

RODRIGUES, A. M.; MATTOS, C. R. Reflexões sobre a noção de significado em contexto. **Indivisa, Boletín de Estudios e Investigación**, v. 7, p. 323-333, 2007.

RUSSEL, M. S. **The Chemistry of Fireworks**. London: Royal Society of Chemistry, 2009.

SABINO, J. D. A Utilização do Perfil Conceitual de Substância em Sala de Aula. 2015. 154 f. Dissertação (Mestrado em Ensino das Ciências) - Departamento de Educação, Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife, Pernambuco, 2015.

SAITO, F. História da ciência e ensino: em busca de diálogo entre historiadores da ciência e educadores. **História da Ciência e Ensino: construindo interfaces**, n. 1, p. 1-6, 2010.

SANTANA, K. V. R.; SARMENTO, V. H. V.; WARTHA, E. J. Modelos atômicos e estrutura celular: uma análise das ideias dos estudantes de Química do Ensino Médio. **Revista de Ensino de Ciências e Matemática**, [S. l.], v. 2, n. 2, p. 110–122, 2011.

SASSERON, L. H.; CARVALHO, A. M. P. de. Alfabetização Científica: Uma Revisão Bibliográfica. **Investigações em Ensino de Ciências**, v. 16, n. 1, p. 59-77, 2011.

SEPULVEDA, C de A. S. Perfil conceitual de adaptação: uma ferramenta para análise de discurso de salas de aula de biologia em contextos de ensino de evolução. 447 f. **Tese** (Doutorado em Ensino, Filosofia e História das Ciências). Universidade Federal da Bahia. 2010.

SEPULVEDA, C de A. S.; MORTIMER, E. F.; EL-HANI, C. N. Construção de um perfil conceitual de adaptação: implicações metodológicas para o programa de pesquisa sobre perfis conceituais e o ensino de evolução. **Investigações em Ensino de Ciências**, v. 18, n. 2, p. 439- 479, 2013.

SEPULVEDA, C de A. S.; MORTIMER, E. F.; EL-HANI, C. N. Conceptual Profile of Adaptation: A Tool to Investigate Evolution Learning in Biology Classrooms. *In*: MORTIMER, E. F.; EL-HANI, C. N. (Ed.) **Conceptual Profiles: A Theory of Teaching and Learning Scientific Concepts**. Contemporary Trends and Issues in Science Education. New York London: Ed. Springer, v. 42, 2014, p. 163-200.

SILVA, F. de C. T. Cultura Escolar: quadro conceitual e possibilidades de pesquisa. **Educar**, n. 28, p. 201-216, 2006.

SILVA, J. R. R. T. Um perfil conceitual para o Conceito de substância. 186 f. **Dissertação** (Mestrado em Ensino de Ciências). Departamento de Educação, Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife, 2011.

SILVA, F. B. da.; ARAÚJO, A. T. de.; OLIVEIRA FILHO, G. P. de.; SOUSA, M. H. S. de. Teoria do perfil conceitual: uma análise de revistas e eventos científicos no período de 2006 à 2016. **Anais...** IV Congresso Nacional de Educação, Fortaleza, Ceará, p. 1-12, 2016. Disponível em: <[https://editorarealize.com.br/editora/anais/conedu/2017/TRABALHO\\_EV073\\_MD1\\_SA16\\_ID1548\\_15102017202744.pdf](https://editorarealize.com.br/editora/anais/conedu/2017/TRABALHO_EV073_MD1_SA16_ID1548_15102017202744.pdf)> Acesso em: 19 jul. 2019.

SILVA, F. C. V. da. Análise dos modos de pensar e formas de falar o conceito de ácido/base em uma experiência socialmente situada vivenciada por licenciandos em química. 241 f. **Tese** (Doutorado em Ensino das Ciências). Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife, 2017.

SILVA, J. R. R. T. da; AMARAL, E. M. R. do. **Proposta de um Perfil Conceitual para Substância**. Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências, v. 13, n. 3, p. 53-72, 2013.

SILVA, A. A. da; AMARAL, E. M. R. do. Revisitando as zonas do perfil conceitual de átomo: contribuições históricas para a zona quântica. **Anais...** do 2 Seminário de Perfis Conceituais – 2 SPeC, Recife – PE, p. 5, 2019.

SILVA, A. A. da.; AMARAL, E. M. R. do. Diferentes modos de pensar e de falar sobre átomo de licenciandos em química quando analisam fatos históricos e fenômenos. *In: Anais...* do 20º Encontro Nacional de Ensino de Química (ENEQ Pernambuco), Recife (PE), UFRPE/UFPE, 2020.

SIMÕES NETO, J. E. Uma proposta para o perfil conceitual de energia em contexto do ensino da física e da química. 251 f. **Tese** (Doutorado em Ensino de Ciências). Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife, 2016.

SIMÕES NETO, J. E.; AMARAL, E. M. R. A produção brasileira sobre a noção de perfil conceitual – analisando tendências. *In: Anais do IX Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências* (IX ENPEC). Águas de Lindóia, SP, 2013.

SOARES, A. G; MATOS, S. A.; COUTINHO, F. A.; MORTIMER, E. F. Estudos preliminares sobre o perfil conceitual de espécie. **Anais...** do VI Encontro Nacional de Pesquisa em Ensino de Ciências. Florianópolis: ABRAPEC, p. 1-10, 2007.

STINNER, A.; MCMILLIAN, B.; METZ, D., JILEK, J.; KLASSEN, S. The Renewal of Case Studies in Science Education. **Science & Education**, n. 12, p. 617–643, 2003.

STINNER, A. Toward a Humanistic Science Education: Using Stories, Drama, and the Theater. **Canadian Theater Review**, p. 14-19, 2007.

STINNER, A. From Intuitive Physics to Star Trek: Large Context Problems (LCP) to enrich the teaching of physics. From Theory to Practice: Placing

contextual Science in the classroom. 95 f. **Monograph**. University of Manitoba, 2008.

STINNER, A. Art on Science. 2009. Disponível em: <<http://www.arthurstinner.com/stinner/pdfs/2009-artonscience.pdf>> Acesso em: 12 jul. 2014.

SUNYONO, S.; SUDJARWO, S. Mental models of atomic structure concepts of 11th grade chemistry students. **Asia-Pacific Forum on Science Learning and Teaching**, v. 19, Issue 1, a. 9, p. 1-2, 2018.

TAVARES, C. M. O Perfil Conceitual e a Construção de Conceitos Científicos em sala de aula. **Monografia**. Faculdade de Educação, UFMG, Belo Horizonte, 2008.

TRINDADE, D. F. História da Ciência: uma possibilidade interdisciplinar para o ensino de ciências no Ensino Médio e nos cursos de formação de professores de ciências. **Revista Brasileira de História da Ciência**, Rio de Janeiro, v. 4, n. 2, p. 257-272, 2011.

VASCONCELOS, F. C. G. C.; SILVA, L. P.; ALMEIDA, M. A. V., Um pouco da história dos explosivos: da pólvora ao Prêmio Nobel. *In: Anais...* XV Encontro Nacional de Ensino de Química, Brasília, p. 1-9, 2010.

VIANA, H. E. B.; PORTO, P. A. O processo de elaboração da teoria atômica de John Dalton. **Química Nova na Escola**, v. 7, p. 4-12, 2007.

VIANA, H. E. B. A Construção da Teoria Atômica de Dalton como Estudo de Caso – e algumas reflexões para o ensino de química. **Dissertação** (Mestrado). Faculdade de Educação da Universidade de São Paulo, 2007.

VIANA, H. E. B.; PORTO, P. A. The Development of Dalton's Atomic Theory as a Case Study in the History of Science: Reflections for Educators in Chemistry, **Science & Education**, n. 19, p. 75 – 90, 2010.

VIDAL, P. H. O.; CHELONI, F. O.; PORTO, P. A. O Lavoisier que Não Está Presente nos Livros Didáticos. **Química Nova na Escola**, n. 26, p.29 – 32, 2007.

VIDAL, P. H. O.; PORTO, P. A. A história da ciência nos livros didáticos de química do PNLEM 2007. **Ciência & Educação**, v. 18, n. 2, p. 291-308, 2012.

VYGOTSKY, L. S. **Teoria e Método em Psicologia**. São Paulo: Martins Fontes, 1996.

VYGOTSKY, L. **A formação social da mente**. São Paulo: Martins Fontes, 2007.

WERRETT, S. Making fire work: pyrotechnics and natural philosophy. **Endeavour**, v. 32, n.1, Elsevier, 2008.

WERTSCH, J. V. **Vygotsky and the social formation of mind**. Cambridge: Harvard University Press., 1985.

## APÊNDICE A

### TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO

docs.google.com/forms/d/e/1FAIpQLSdi93ddmAn0J1LbysbILZUMb...\_QNOfx7wyD2xpZkFzjF8i1yg/viewform

SeriesOnlineHD.org... Girls&Girls Magazin... (19) Facebook

Lista de leitura



### TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO

UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DE PERNAMBUCO  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENSINO DAS CIÊNCIAS E MATEMÁTICA

Caro(a) estudante,

Eu, Alexandro Alberto da Silva, mestrando em Ensino das Ciências da Universidade Federal Rural de Pernambuco, no momento estou desenvolvendo a pesquisa intitulada "Modos de pensar e formas de falar o átomo em um estudo de caso histórico sobre os fogos de artifício" sob a orientação da professora Dr.<sup>a</sup> Edenia Maria Ribeiro do Amaral, que tem por objetivo analisar a heterogeneidade de modos de pensar e formas de falar o átomo em um estudo de caso histórico sobre os fogos de artifícios, enfatizando aspectos da visão quântica dos materiais a partir da relação entre modelos e fenômenos.

Para tanto, estamos convidando você para participar desta pesquisa cujos dados serão obtidos por meio da aplicação de questionários, registros orais e escritos, mas preservando a identidade dos participantes. Assim, sua participação nesta pesquisa é voluntária e não implicará qualquer risco ou desconforto. Informo que as gravações ficarão à disposição dos participantes. A qualquer momento você poderá desistir de participar e retirar seu consentimento e sua recusa não trará nenhum prejuízo em sua relação com o pesquisador ou a Universidade. Firmamos aqui o compromisso ético de divulgar os dados da pesquisa em contextos científicos e acadêmicos, sem prejuízo às identidades e imagens dos sujeitos.

Vale ressaltar que, não existirá despesas ou compensações pessoais para o participante em qualquer fase do estudo. Também não há compensação financeira relacionada à sua participação. Comprometemo-nos a utilizar os dados coletados somente para pesquisa e os resultados serão veiculados através de artigos científicos em revistas especializadas e/ou em encontros científicos e congressos.

Desta forma, Eu \_\_\_\_\_, afirmo que fui devidamente orientado (a) e esclarecido (a) sobre o objetivo e a finalidade da pesquisa, os procedimentos a serem realizados, bem como a utilização dos dados nela obtidos. Esses dados poderão ser utilizados para a pesquisa e para publicações posteriores, desde que sejam garantidos os cuidados éticos acima mencionados.

**PESQUISADORES**

**ALEXSANDRO ALBERTO DA SILVA**  
Licenciado em Química e Mestrando em Ensino das Ciências pela Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRPE).  
Contatos: [alexbulom24@gmail.com](mailto:alexbulom24@gmail.com)  
Fone: (81) 9 9952-7873

**EDENIA MARIA RIBEIRO DO AMARAL**  
Professora Associada do Departamento de Química – Universidade Federal de Pernambuco (UFRPE), Recife - PE.

Contato: [edeniamramaral@gmail.com](mailto:edeniamramaral@gmail.com)

[alexbullom24@gmail.com](mailto:alexbullom24@gmail.com) [Alternar conta](#)

\*Obrigatório

E-mail \*

Seu e-mail \_\_\_\_\_

OS PAIS OU RESPONSÁVEL LEGAL AUTORIZAM A PARTICIPAÇÃO? \*

NÃO SE APLICA (MAIOR DE IDADE)

SIM

NÃO

NOME DO (A) RESPONSÁVEL QUE AUTORIZOU A SUA PARTICIPAÇÃO NO PROJETO. \*

Sua resposta \_\_\_\_\_

NOME DO (A) ALUNO (A) PARTICIPANTE \*

Sua resposta \_\_\_\_\_

VOCÊ DECIDE PARTICIPAR E AUTORIZA A PUBLICAÇÃO DOS DADOS CONFORME DESCRIÇÃO FEITA ACIMA SOBRE ESSE TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO? \*

SIM

NÃO

Uma cópia das suas respostas será enviada para o endereço de e-mail fornecido

[Enviar](#) [Limpar formulário](#)

Nunca envie senhas pelo Formulários Google.

 reCAPTCHA  
[Privacidade](#) [Termos](#)

## APÊNDICE B

### FICHA DIDÁTICA 1 – ORIENTAÇÕES PARA AS ATIVIDADES

Objetivos:

- 1 – Esclarecer a proposta da aplicação da pesquisa para os sujeitos e como irão vivenciá-la (tempo, instrumentos, ações e encontros);
- 2 – Assinar o Termo de Consentimento Livre e Esclarecido;
- 3 – Responder o questionário diagnóstico.

A sequência didática foi planejada incluindo o estudo de caso histórico no formato virtual, síncrono (momentos em diálogo comigo – *google meet* ou *hangout* – em audiovisual e chat) e assíncronas (momentos de diálogos entre os participantes com minha observação – *google meet* ou *hangout* – em audiovisual e chat). Assinado o Termo de Consentimento Livre e Esclarecido (TCLE – assíncrono - link: <https://docs.google.com/forms/d/e/1FAIpQLSdi93ddmAn0J1LbysbILZUMb-QNOfx7wyD2xpZkFZjFBi1yg/viewform>) será aplicado o questionário diagnóstico, ambos pelo *google* formulário (assíncrono – link: <https://docs.google.com/forms/d/e/1FAIpQLSd0VJRNPFiaeTjdHRz7czsS1rP4gXQsypH6Zsriqvy9xvpSaQ/viewform>), para conhecer as concepções dos participantes sobre o conceito átomo relacionado ao problema de amplo contexto – a queima dos fogos de artifício.

## APÊNDICE C

### MATERIAL DE APRESENTAÇÃO DA EXPOSIÇÃO DIALOGADA

#### Slide 1

#### Modelos Atômicos e o Átomo



#### Slide 2

#### Primeiras ideias sobre a constituição da matéria...



- 400 a.C Leucipo e Demócrito: princípio da divisibilidade
- Origem da palavra átomo: em grego significa indivisível
- 350 a.C Aristóteles: teoria dos 4 elementos

#### Slide 3



#### Modelo de Demócrito e Leucipo

Demócrito e Leucipo, sugeriram que **toda a matéria era formada por pequenos corpos indivisíveis**. Chamaram estes corpos de átomo, que em grego a significa não e *tomos* significa divisível.

- 500 e 1500 d.c., surgiram entre os árabes e europeus, os **alquimistas**. Seus trabalhos eram obter o **elixir da longa vida**, imortalidade, pedra filosofal, capaz de tornar qualquer metal em ouro



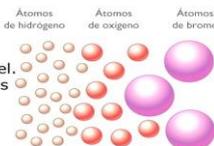
- No século XVIII, nasce a ideia de **química como Ciência, com os estudos das Leis Ponderais, Lavoisier e Proust.**

#### Slide 4



#### Modelo de Dalton

- Bolinha maciça e indivisível. Baseado nas Leis Ponderais de Proust e Lavoisier.



Postulou...

- I) Todas as substâncias são constituídas de átomos, que não podem ser criados e nem destruídos.
- II) Cada substância é constituída de um único tipo de átomo. Substância simples ou elementos são formados de "**átomos simples**", que são indivisíveis. Substâncias compostas são formadas por "**átomos compostos**", capazes de se decompor, em "átomos simples".
- III) Todos os **átomos** de uma **mesma substância são idênticos** na forma, no tamanho, na massa e nas demais propriedades. A massa de um "átomo composto" é igual à soma das massas de todos os "átomos simples" componentes.
- IV) Os "**átomos compostos**" são formados por um **pequeno número de "átomos simples"**.

#### Slide 5

#### Modelos Atômicos

O que é?

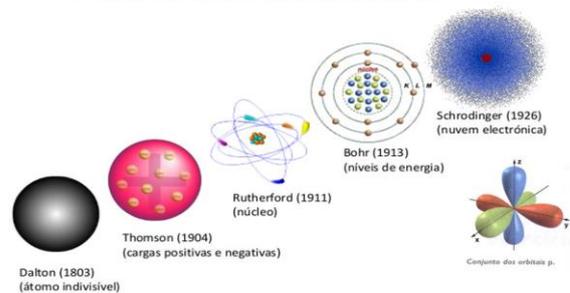
Os modelos atômicos são **teoria baseadas na experimentação feita por cientistas para explicar como é o átomo.**

Os modelos **NÃO** existem na natureza.

São apenas explicações para mostrar o porquê de um fenômeno. Muitos cientistas desenvolveram suas teorias. Com o passar dos tempos, os modelos foram **evoluindo até chegar ao modelo atual.**

#### Slide 6

#### Evolução dos Modelos Atômicos



## APÊNDICE D

### FICHA DIDÁTICA 5 – ORIENTAÇÕES PARA AS ATIVIDADES

Objetivos:

- 1 – Proceder um debate dialogado de situações-problemas sobre o átomo e os fogos de artifício;
- 2 – Continuar os quatro grupos de três participantes no mínimo para debater as situações-problemas;
- 3 – Produzir uma síntese das respostas no google documento por cada grupo do PAC para ser apresentado;
- 4 – Disponibilizar fichas orientadores com o *story line*, de construção do personagem eu-cientista e de suas ideias sobre o desenvolvimento histórico e atual do átomo e dos fogos de artifício.

Atividades de leitura sobre a história do átomo e dos fogos de artifício, de audiovisual sobre a queima desses materiais e debates dialogados sobre a temática e o conceito central, dividindo os estudantes em quatro grupos de três, no mínimo, onde receberão as questões norteadoras intermediário para pesquisar, discutir e registrarem no Diário de Pesquisa Histórica Científica (DPHC), a sala de aula virtual no *google classroom*, com aplicativo *google documento* compartilhado com a síntese das respostas do grupo, os diálogos serão realizados e estimados para cada um por suas falas pelo *google hangout* ou *meet* ou *whatsapp* (escrito ou audiovisual – a critério de cada grupo).

Em seguida, será apresentado o *story line* e disponibilizado na sala de aula virtual pelo *google classroom* e/ou pelo grupo de *whatsapp*, como também será solicitado que construam seu personagem (eu-cientista) e o desenvolvimento histórico e atual da queima dos fogos de artifício e a ideia de átomo, através da produção de podcasts de um a três minutos para cada um, os quais serão disponibilizados nos espaços de grupos virtuais como citados anteriormente.

Situações-problemas do PAC.

**Problema 1:** Você volta para casa na época de São João, depois de uma longa jornada de pesquisas científicas, para comer a tão desejada comida de milho, dançar o forró inesquecível e soltar os fogos juninos. Em um instante, seu sobrinho pergunta: de que são feitos os fogos de artifício? De onde vem esse colorido?

**Problema 2:** No réveillon de 2019, você foi à praia passar a entrada do novo ano com sua família e amigos. Como de costume, apresenta-se shows de bandas e cantores famosos, bem como um espetáculo de queima de fogos de artifício. Deixando aquela emoção mais forte do começo de ano novo com todo o colorido no céu. Quais materiais são usados para esse evento? E o que provoca esse show de cores?

Fonte: o autor (2020).

#### *Story line.*

No ano de 1935, na cidade de Copenhague sediou uma importante conferência internacional entre os cientistas de um programa de pesquisa que investiga a teoria atômica, para debaterem algumas questões ligadas à estrutura da matéria a partir do fenômeno da queima de fogos de artifício. Ao final desse encontro, espera-se que cheguem num consenso sobre qual teoria atômica/modelo atômico explica com rigor essa transformação química.

Fonte: o autor (2015).

#### Ficha de construção do eu-personagem ou cientista-aluno.

1. Nome, parentesco e outras informações familiares.
2. Idade, local onde vive, profissão, situação familiar e profissional atual conforme o *story line* apresentado.
3. Descrição dos principais fatos e emoções vividas até o momento (Afetivas, traumas, crenças, momentos felizes ou tristes).

Fonte: o autor (2016).

Ficha de construção do desenvolvimento histórico e atual do problema de amplo contexto e sua ideia central unificadora.

1. Principais princípios, leis, experimentos, expressões matemáticas e representações defendidas pela ideia central átomo e o problema de amplo contexto da queima dos fogos de artifícios em seu desenvolvimento histórico e atual.
2. Criar uma palavra ou expressão de palavras que o seu eu cientista defende sobre a composição das coisas do universo.

Fonte: o autor (2016).

## APÊNDICE E

### FICHA DIDÁTICA 2 – ORIENTAÇÕES PARA AS ATIVIDADES

Objetivos:

- 1 – Disponibilizar textos sobre a história do átomo e dos fogos de artifício e vídeo do *Youtube* sobre o fenômeno da queima desses materiais;
- 2 Dividir quatro grupos de três participantes no mínimo para debater as questões norteadoras simples do problema de amplo contexto por meio de pesquisas;
- 3 – Produzir uma síntese das respostas no *google* documento e num fluxograma por cada grupo do problema de amplo contexto para ser apresentado.

Atividades de leitura sobre a história do átomo e dos fogos de artifício, de audiovisual sobre a queima desses materiais e debates dialogados sobre a temática e o conceito central, dividindo os estudantes em quatro grupos de três, no mínimo, onde receberão as questões norteadoras simples para pesquisar, discutir e registrarem no Diário de Pesquisa Histórica Científica (DPHC), a sala de aula virtual no *google classroom*, com aplicativo *google* documento compartilhado com a síntese das respostas do grupo, os diálogos serão realizados e estimados para cada um por suas falas pelo *google hangout* ou *meet* ou *whatsapp* (escrito ou audiovisual – a critério de cada grupo).

Questões norteadoras simples para o debate do problema de amplo contexto.

**FOGOS DE ARTIFÍCIO E AS CIVILIZAÇÕES CHINESAS, GREGAS E  
ÁRABES ANTIGAS**

1. O que é o fogo artificial e sua relação com a estrutura e o processo de queima?
2. Como se fazia o fogo artificial na civilização chinesa, grega e arábica antiga?
3. Qual a composição do fogo artificial para esses povos?
4. Para que usavam o fogo artificial essas civilizações?
5. Como se explicava a estrutura dos materiais e a cor do fogo artificial produzido pelos chineses, gregos e arábicos antigos?

#### **FOGOS DE ARTIFÍCIO ENTRE OS SÉCULO XV E XVIII**

1. O que é o fogo artificial e sua relação com a estrutura e o processo de queima?
2. Como se fazia o fogo artificial na civilização europeia do século XIV ao XVII?
3. Qual a composição do fogo artificial para esse povo?
4. Para que usavam o fogo artificial na Europa dessa época?
5. Como se explica a estrutura dos materiais e a cor do fogo artificial produzido pelos europeus nesse tempo histórico?

#### **FOGOS DE ARTIFÍCIO NO SÉCULO XIX**

1. O que é o fogo artificial e sua relação com a estrutura e o processo de queima no século XIX?
2. Como se fazia o fogo artificial no século XIX?
3. Qual a composição do fogo artificial nesse momento histórico?
4. Para que usavam o fogo artificial nessa época?
5. Como se explica a estrutura dos materiais e a cor do fogo artificial produzido neste século?

#### **FOGOS DE ARTIFÍCIO NO SÉCULO XX**

1. O que é o fogo artificial e sua relação com a estrutura e o processo de queima no século XX?
2. Como se fazia o fogo artificial no século XX?
3. Qual a composição do fogo artificial nesse momento histórico?
4. Para que usavam o fogo artificial nessa época?
5. Como se explica a estrutura dos materiais e a cor do fogo artificial produzido neste século?

Fonte: o autor (2020).

Ao final, mapear-se-á cada caso em estudo envolvendo o problema de amplo contexto e deverá ser produzidos fluxogramas por cada grupo, relacionando as ideias sobre o átomo/modelos atômicos, apresentados pelo registro no google documento compartilhado de cada grupo e o debate dialógico e interativo por meio entre o pesquisador e os estudantes e entre eles. Para organizar o fluxograma é livre, conforme a criação do grupo, mas vocês devem expor todas as informações necessárias que contemplem as respostas e estejam presentes no debate de vocês.

## APÊNDICE F

### FICHA DIDÁTICA 3 – ORIENTAÇÕES PARA AS ATIVIDADES

Objetivos:

- 1 – Disponibilizar textos sobre a história do átomo e dos fogos de artifício e vídeos do *Youtube* sobre o fenômeno da queima desses materiais;
- 2 – Proceder um debate dialogado sobre a história do átomo e dos fogos de artifício;
- 3 – Continuar os quatro grupos de três participantes no mínimo para debater as questões norteadoras intermediárias do PAC;
- 4 – Produzir uma síntese das respostas no google documento e num fluxograma por cada grupo do PAC para ser apresentado.

Atividades de leitura sobre a história do átomo e dos fogos de artifício, de audiovisual sobre a queima desses materiais e debates dialogados sobre a temática e o conceito central, dividindo os estudantes em quatro grupos de três, no mínimo, onde receberão as questões norteadoras intermediário para pesquisar, discutir e registrarem no Diário de Pesquisa Histórica Científica (DPHC), a sala de aula virtual no *google classroom*, com aplicativo google documento compartilhado com a síntese das respostas do grupo, os diálogos serão realizados e estimados para cada um por suas falas pelo *google hangout* ou *meet* ou *whatsapp* (escrito ou audiovisual – a critério de cada grupo).

Questões norteadoras intermediárias para o debate do PAC.

<p style="text-align: center;"><b>FOGOS DE ARTIFÍCIO E AS CIVILIZAÇÕES CHINESAS, GREGAS E ÁRABES ANTIGAS</b></p>
--

- |  |
|--|
| <ol style="list-style-type: none"><li>1. Descreva a matéria contínua do fogo artificial.</li><li>2. Em que é baseada a continuidade da matéria para a negação do átomo e o vazio?</li><li>3. Qual a relação da ideia de continuidade da matéria com a queima dos fogos</li></ol> |
|--|

de artifícios?
<b>FOGOS DE ARTIFÍCIO ENTRE OS SÉCULO XV E XVIII</b>
<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Descreva a matéria constituída por partículas infinitesimais na queima do fogo de artifício.</li> <li>2. Por que se mostrou um experimento que provava a existência do vácuo e ainda se negava o vazio na matéria?</li> </ol>
<b>FOGOS DE ARTIFÍCIO NO SÉCULO XIX</b>
<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Descreva a matéria constituída por modelo atômico na queima do fogo de artifício.</li> <li>2. Como você demonstra a descontinuidade da matéria? Explique usando a ideia de modelo atômico.</li> <li>3. Que limitações traz o substancialismo para explicar a matéria constituída por átomos?</li> </ol>
<b>FOGOS DE ARTIFÍCIO NO SÉCULO XX</b>
<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Descreva a matéria constituída por algum modelo atômico na queima do fogo de artifício do século XX.</li> <li>2. Como você demonstra a superação da ideia contínuo-descontínuo na matéria pela ideia de átomo?</li> <li>3. Que limitações traz a visão substancialista, mecanicista e corpularista da partícula e subpartículas para explicar a matéria constituída por átomos e partículas subatômicas?</li> <li>4. O que é a realidade quântica da matéria? Explique usando a ideia de átomo quântico.</li> </ol>

Fonte: o autor (2020).

Ao final, mapear-se-á cada caso em estudo envolvendo o problema de amplo contexto e deverá ser produzidos fluxogramas por cada grupo, relacionando as ideias sobre o átomo/modelos atômicos, apresentados pelo registro no google documento compartilhado de cada grupo e o debate dialógico e interativo por meio entre o pesquisador e os estudantes e entre

eles. Para organizar o fluxograma é livre, conforme a criação do grupo, mas vocês devem expor todas as informações necessárias que contemplem as respostas e estejam presentes no debate de vocês.

## APÊNDICE G

### FICHA DIDÁTICA 4 – ORIENTAÇÕES PARA AS ATIVIDADES

Objetivos:

- 1 – Proceder um debate dialogado sobre a história do átomo e dos fogos de artifício;
- 2 – Continuar os quatro grupos de três participantes no mínimo para debater as questões norteadoras aprofundadas do PAC;
- 3 – Produzir uma síntese das respostas no google documento e num fluxograma por cada grupo do PAC para ser apresentado.

Atividades de leitura sobre a história do átomo e dos fogos de artifício, de audiovisual sobre a queima desses materiais e debates dialogados sobre a temática e o conceito central, dividindo os estudantes em quatro grupos de três, no mínimo, onde receberão as questões norteadoras intermediário para pesquisar, discutir e registrarem no Diário de Pesquisa Histórica Científica (DPHC), a sala de aula virtual no *google classroom*, com aplicativo *google* documento compartilhado com a síntese das respostas do grupo, os diálogos serão realizados e estimados para cada um por suas falas pelo *google hangout* ou *meet* ou *whatsapp* (escrito ou audiovisual – a critério de cada grupo).

Questões norteadoras do debate para aprofundar o PAC e o PCA

**FOGOS DE ARTIFÍCIO E AS CIVILIZAÇÕES CHINESAS, GREGAS E  
ÁRABES ANTIGAS**

1. Sabendo dos materiais necessários para a queima dos fogos de artifícios pelos povos antigos, como você explicaria a produção do fogo artificial?
2. Explique como você pode mostrar a continuidade da matéria nos materiais do fogo artificial?
3. Você pode explicar a estrutura da matéria do fogo artificial comparando a composição dos elementos primordiais com a dos átomos na civilização grega antiga?
4. Compare o vazio com a ideia de átomo na matéria?
5. Caracterize cada material do fogo artificial por meio dos elementos primordiais.
6. A que se deve a cor exibida no fogo artificial?

#### **FOGOS DE ARTIFÍCIO ENTRE OS SÉCULO XV E XVIII**

1. Sabendo dos materiais necessários para a queima dos fogos de artifícios pelos povos da Europa, como você explicaria a produção do fogo artificial?
2. Explique como você pode mostrar as características dos materiais na queima do fogo artificial?
3. Você pode explicar a estrutura da matéria do fogo artificial por partículas infinitesimais que permanecem contínuas, sem vazio, nesse tempo histórico?
4. Demonstra o experimento de Torricelli.
5. Caracterize cada material do fogo artificial por meio da ideia de partículas infinitesimais.
6. A que se deve a cor exibida no fogo artificial, segundo a visão de Newton?

#### **FOGOS DE ARTIFÍCIO NO SÉCULO XIX**

1. Sabendo dos materiais necessários para a queima dos fogos de artifícios no século XIX, como você explicaria a produção do fogo artificial?
2. Explique como você pode mostrar as características dos materiais na queima do fogo artificial?
3. Você pode explicar a estrutura da matéria do fogo artificial por um modelo atômico imagético, descontínuo e sem a visão substancialista para explicar suas interações nesse tempo histórico?
4. Demonstre os experimentos envolvidos na explicação do modelo atômico no século XIX.
5. Caracterize cada material do fogo artificial por meio da ideia de modelo atômico do século XIX.
6. A que se deve a cor exibida no fogo artificial? Explique através da ideia de modelo atômico desse período?

### **FOGOS DE ARTIFÍCIO NO SÉCULO XX**

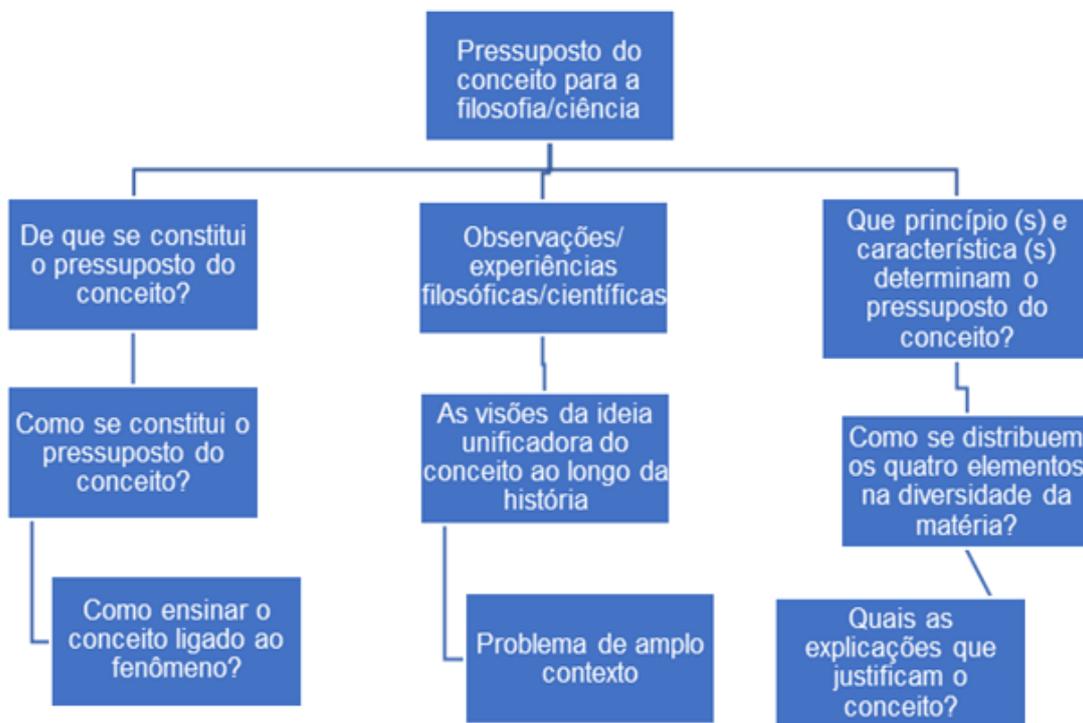
1. Sabendo dos materiais necessários para a queima dos fogos de artifícios no século XX, como você explicaria a produção do fogo artificial?
2. Explique como você pode mostrar as características dos materiais na queima do fogo artificial?
3. Você pode explicar a estrutura da matéria do fogo artificial por átomo representado por uma equação matemática, descontínuo, dualístico, indeterminado, quantizado e sem a visão substancialista, mecanicista e corpuscularista nas suas interações nesse tempo histórico?
4. Demonstre os experimentos e teorias envolvidas na explicação do átomo no século XX.
5. Caracterize cada material do fogo artificial por meio da ideia de átomo do século XX.
6. A que se deve a cor exibida no fogo artificial? Explique através da ideia de átomo nesse período histórico?

Fonte: o autor (2020).

Ao final, mapear-se-á cada caso em estudo envolvendo o problema de amplo contexto e deverá ser produzidos fluxogramas por cada grupo,

relacionando as ideias sobre o átomo/modelos atômicos, apresentados pelo registro no google documento compartilhado de cada grupo e o debate dialógico e interativo por meio entre o pesquisador e os estudantes e entre eles. Para organizar o fluxograma siga o modelo abaixo, mas vocês devem expor todas as informações necessárias que contemplem as respostas e estejam presentes no debate de vocês.

Fluxograma do PAC relacionado às zonas do perfil conceitual do átomo.



Fonte: o autor (2020).