



**UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
INSTITUTO DE QUÍMICA**

Mariana Rizzo dos Santos

**OBSTÁCULOS EPISTEMOLÓGICOS NO ENSINO DE
QUÍMICA QUÂNTICA: ANÁLISE DOS LIVROS
DIDÁTICOS DO PNLD 2018 E 2021**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

Brasília – DF

1.º/2022



**UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
INSTITUTO DE QUÍMICA**

Mariana Rizzo dos Santos

**OBSTÁCULOS EPISTEMOLÓGICOS NO ENSINO DE
QUÍMICA QUÂNTICA: ANÁLISE DOS LIVROS
DIDÁTICOS DO PNLD 2018 E 2021**

Trabalho de Conclusão de Curso em Ensino de Química apresentado ao Instituto de Química da Universidade de Brasília, como requisito parcial para a obtenção do título de Licenciada em Química.

Orientadora: Evelyn Jeniffer de Lima Toledo

1.º/2022

Ausência de evidência não é evidência de ausência (Carl Sagan)

Agradecimentos

“Palavras são, na minha nada humilde opinião, nossa inesgotável fonte de magia.” Alvo Dumbledore

Agradeço a mamãe e ao papai, que estiveram sempre comigo durante essa jornada e me ensinaram que o conhecimento é a única coisa que ninguém pode me tirar, e que sempre lutaram para me proporcionar o melhor.

Aos meus familiares, por compreenderem as minhas ausências nos almoços de domingo, e principalmente ao vovô, que sempre esteve ao meu lado, porque aqueles que nos amam, nunca nos deixam de verdade.

Agradeço a Dra. Letícia, que me mostrou que a felicidade pode ser encontrada mesmo nas horas mais difíceis, apenas se eu me lembrar de acender a luz.

Aos meus amigos, Calebe, Bruninha, Biel e Nat pelas incansáveis risadas, histórias, RU's e companhia ao longo desses 5 anos. Agradeço em especial ao Vítor que acompanhou desde o início a construção desse trabalho e sempre me apoiou a lutar contra os Coaches Quânticos.

Agradeço a Dutos Química e Ambev, em especial ao Pablito, Luca, Mariana e Bebel por tornarem essa jornada mais leve com boas risadas, conversas infindas e muito café.

Agradeço a minha orientadora e mãe científica, Jeniffer, que esteve ao meu lado desde quando eu era apenas um chaveirinho e me incentivou a sonhar e correr atrás com os pés no chão, porque não vale a pena mergulhar nos sonhos e esquecer de viver.

Sumário

Resumo	6
Introdução	7
Capítulo 1- TRANSPOSIÇÃO DIDÁTICA	10
Capítulo 2 – OBSTÁCULO EPISTEMOLÓGICOS	12
2.1 Experiência Primeira	14
2.2 O conhecimento geral como obstáculo ao conhecimento científico	14
2.3 Obstáculo Verbal	15
2.4 Obstáculo unitário e pragmático	15
2.5 Obstáculo substancialista	16
2.5 Obstáculo realista	17
2.6 Obstáculo Animista	17
2.6 O mito da digestão	17
2.7 A libido e o conhecimento objetivo	18
2.8 Os obstáculos do conhecimento Quantitativo	18
Capítulo 3 - UMA NEM TÃO BREVE HISTÓRIA DA MECÂNICA QUÂNTICA	19
3.1 O problema da radiação do corpo negro	19
3.2. Einstein e a quântica	20
3.3 Modelos atômicos	22
3.4 Modelo Quântico	24
4. Capítulo 4- METODOLOGIA	25
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO	29
5.1 Quantização da Energia	32
5.2 Fóton	34
5.3 Transição Eletrônica	35
5.4 Orbital	38
5.5 Números Quânticos	39
5.5.1 Número Quântico Principal	40
5.5.2. Número Quântico Secundário	40
5.5.3. Número Quântico Magnético	42
5.5.4. Número Quântico Magnético de Spin	42
5.6. Quântica	43
5.7. PNLD 2018 <i>versus</i> PNLD 2021	43
6. CONSIDERAÇÕES FINAIS	45
Referências	47

RESUMO

A aplicação da palavra quântica está se tornando cada vez mais comum na vida cotidiana, seja através de várias inovações tecnológicas ou de certos conceitos que são distorcidos e alterados a fim de enganar pessoas com intuito de promover serviços e produtos que não possuem ligação alguma com a Mecânica Quântica ou sequer com a ciência (“Misticismo Quântico”). Por isso há uma necessidade crescente de estudar este assunto nas escolas. Através disto, este trabalho tem o propósito de analisar os obstáculos epistemológicos presentes na abordagem do conteúdo de Química Quântica nos livros de Química do Ensino Médio aprovados no PNLD 2018 e 2021. Sugere-se que nenhuma coleção se absteve de obstáculos durante a abordagem e não houve melhora acerca dos obstáculos epistemológicos presentes no PNLD 2018 e 2021. Além disso, os autores apresentam uma grande dificuldade de transpor adequadamente o conteúdo referente a Teoria Quântica, que acaba por propiciar um estudo baseado única e exclusivamente na memorização de conceitos. Desta forma, é indispensável a melhora na abordagem dos conceitos de Química Quântica nos livros didáticos.

Palavras-chaves: Análise de Livros, PNLD, Quântica

INTRODUÇÃO

A ciência Química estabelecida atualmente é responsável por estudar a matéria e suas transformações, isto é, tudo o que está ao nosso redor. Porém, antes mesmo de ser estabelecida como ciência, seus fenômenos já eram utilizados com o propósito de melhorar a qualidade de vida dos seres humanos. Podemos dizer que o uso do fogo com o intuito de iluminar e cozinhar alimentos, por volta de 500.000 a.C., é um indício desse uso. Podemos citar como conhecimentos químicos empíricos o uso de pigmentos inorgânicos e orgânicos, utilizados respectivamente para a realização de pinturas rupestres e adorno corporal, todavia, a aplicação mais marcante dos conhecimentos químicos empíricos foi a extração e manipulação de metais, que deu origem aos nomes das etapas do desenvolvimento da civilização humana, como a idade da pedra, idade do cobre, idade do bronze e idade do ferro. (NEVES, FARIAS, 2008).

A química tem origem com os últimos filósofos pré-socráticos, Leucipo e Demócrito, que em meados do século 5 a.C. tinham o interesse em explicar as propriedades da matéria e como era ordenado o mundo material. Isso gerou a ideia de que toda a realidade poderia ser explicada através dos átomos (não-divisíveis) e do vazio (responsável por conter os átomos e permitir seu movimento) (REALE, 2007).

A retomada da concepção atomista da matéria aconteceu no século XVII por Robert Boyle e Lémery, mas o responsável por introduzi-la foi John Dalton no início do século XVIII (NEVES, FARIAS, 2008). Dalton sintetizou o atomismo físico de Demócrito e Leucipo com o aspecto quantitativo das reações químicas enfatizado por Lavoisier. A consequência de sua teoria mudou o rumo da ciência química de forma profunda e definitiva (FARIAS, 2004 *apud* NEVES, FARIAS, 2008).

Foi na revolução científica do século XVII que uma nova forma de olhar a natureza começou a se desenvolver. Naquela época, a ciência foi revolucionária porque rompeu com as ideias de que a realidade era regida por desígnios e sujeita a vontades sobrenaturais, dando início a ciência atual (HENRY, 1998). Isaac Newton mostrou que qualquer fenômeno físico que fosse observado de forma empírica correspondia exatamente a um modelo matemático deduzido de axiomas referentes à noção de espaço, massa, tempo e força (VARGAS, 1996).

A revolução quântica acontece no século XX, por volta de 1900, com a introdução dos *quanta* por Max Planck (KUHN, 2018). Naquele momento, a natureza (cujas leis eram regidas através do princípio da causalidade), é contraposta pela visão de Planck e deixa de ser contínua. Através dela, é possível descrever como ocorre a ligação química, o motivo pelo qual os elétrons não entram em colapso com o núcleo atômico, e a explicação de processos químicos. A química finalmente passa a ter uma base fisicamente aplicável (ZEILINGER, 2005).

Atualmente, a Mecânica Quântica apresenta um papel de destaque na sociedade, sendo a base da tecnologia moderna e estando presente no dia a dia da população. Estima-se que 1/3 do PIB dos Estados Unidos da América (EUA) esteja diretamente ligado a Teoria Quântica, aproximadamente 36 trilhões de reais (VILLAS-BÔAS, 2022).

Podemos destacar o uso dos semicondutores, componente principal nos circuitos eletrônicos atuais, sem os quais não haveriam computadores modernos, celulares e conseqüentemente nenhum outro objeto que possui tal tecnologia embutida. O desenvolvimento dessa teoria fundamenta uma parte notável da economia dos países industriais (ZEILINGER, 2005).

Entretanto, o sucesso da Teoria Quântica vem sendo alvo de charlatões e da pseudociência, algo extremamente mais fácil de se desenvolver do que a ciência, uma vez que seu princípio fundamental é não confrontar a realidade e não deixar brechas para que isso ocorra. Tem como base principal atingir a ignorância de quem a consome, mexer com seu emocional e o encher de promessas fáceis, em outras palavras, fantasias (PESSOA JR, 2011).

A ciência, por outro lado, é difícil de se entender e muitas vezes não nos entrega a verdade que gostaríamos de ouvir, o que torna a pseudociência muito mais forte, já que promessas fáceis e milagrosas são muito mais aceitas pelos seres humanos. O termo “quântico” tem sido usado de maneira exacerbada e indevida para vender curas milagrosas, terapias e objetos que não possuem nenhuma explicação fundamentada no método científico, apenas servem para ludibriar inescrupulosamente a população e aumentar suas vendas (PESSOA JR, 2011).

Aprender os princípios da Química Quântica é então indispensável para que seja possível compreender o funcionamento do mundo em que vivemos e para que sejamos capazes de exercer a nossa cidadania. Portanto, é papel da escola garantir

o ensino da teoria conforme a Lei nº 9.394, que estabelece as diretrizes e bases da educação nacional (BRASIL, 1996).

De acordo com a Base Nacional Comum Curricular (BNCC), o ensino de Química Quântica deverá ser realizado no ensino médio (BRASIL, 2018).

Os livros didáticos, embora não sejam o único material disponível para contextualizar e trazer o conhecimento científico aos alunos, ainda são, mesmo com o avanço da tecnologia, de acordo com Rocha e Farias (2020), o recurso mais utilizado na construção do ensino de ciências pelos docentes.

Esse mecanismo didático foi introduzido no ano de 1985, através do Decreto nº 91.542, que instituiu o Programa Nacional do Livro Didático (PNLD), com a finalidade de distribuir gratuitamente livros escolares aos estudantes matriculados nas escolas públicas de 1º Grau. O Programa Nacional do Livro Didático para o Ensino Médio (PNLEM) foi instituído apenas em 2003 através da Resolução CD FNDE nº. 38, de 15/10/2003 e executado em 2005, sendo que a aquisição de livros de química aconteceu apenas no ano de 2007 (FNDE, [S.I]).

O programa é de responsabilidade do Ministério da Educação (MEC) e gerenciado pelo Fundo Nacional de Desenvolvimento da Educação (FNDE). Sua distribuição gratuita é justificada pela Lei de diretrizes e bases da educação nacional (LDB) e garantida como parte do dever do Estado com a educação escolar pública (BRASIL, 1996). Essa prática pode justificar o fato de que o material didático ainda é o mais utilizado pelos professores.

A resolução publicada em 2003 atribui ao MEC a pré-análise e avaliação pedagógica dos livros didáticos inscritos no programa de acordo com critérios previamente discutidos, procedimento que foi aperfeiçoado e aplicado até os dias atuais. A aquisição dos materiais didáticos é realizada por inexigibilidade de licitação, prevista na Lei 8.666/93 e acontece de forma periódica a fim de garantir a manutenção da uniformidade da alocação de recursos do FNDE (FNDE, [S.I]).

Por causa da abrangência nacional do PNLD, os livros didáticos presentes no programa são extremamente relevantes como objetos de pesquisa, uma vez que permitem a análise de situações de ensino vivenciadas em âmbito nacional (HOMRICH *et al.*, 2019). Dessa forma, o objetivo deste trabalho é realizar uma análise nos livros do PNLD 2018 e 2021 referentes ao ensino médio, com a finalidade de

localizar os possíveis obstáculos epistemológicos no conteúdo de Química Quântica presentes nos livros.

CAPÍTULO 1- TRANSPOSIÇÃO DIDÁTICA

A química trabalha com conceitos que possuem um alto nível de abstração, interdependência e linearidade. Tais conceitos, caso não sejam muito bem trabalhados pelo professor, podem gerar equívocos na aprendizagem. Deste modo, é necessário que haja uma adaptação da linguagem científica para que o aluno compreenda de forma mais clara o conteúdo.

A educação escolar não se limita a fazer uma seleção entre os saberes e os materiais culturais disponíveis num momento dado numa sociedade. Ela deve também, a fim de os tornar efetivamente transmissíveis, efetivamente assimiláveis para as jovens gerações, se entregar a um imenso trabalho de reorganização, de reestruturação, de “transposição didática (FORQUIN, 1992 p. 32).

O conceito de transposição didática foi introduzido em 1975 derivado da tese de doutorado do sociólogo Michel Verret, intitulada “*Les Tempes des Études*”. Verret desenvolveu sua pesquisa buscando mostrar a necessidade de reorganizar e reestruturar os saberes para que os mesmos pudessem ser transmissíveis e assimiláveis entre os alunos. Para o autor toda prática de ensino de um objeto pressupõe a transformação prévia deste em objeto de ensino (VERRET, 1975 *apud* FORQUIN, 1992).

Em 1982, com base no trabalho de Verret, Yves Chevallard e Marie Joshua publicaram um trabalho onde se dedicavam a discutir e analisar o conceito matemático de distância. Logo depois, em 1985, Chevallard publicou um trabalho intitulado “*La tranposition didactique*”.

Chevallard (1991), classifica o saber em 3 tipos: O **saber sábio** ou saber científico (Savoir Savant), **saber a ensinar** (Savoir à Ensigner) e o **saber ensinado** (Savoir Ensigné). O conjunto de ações que tornam o saber científico em saber ensinável é denominado transposição didática (SIQUEIRA, PIETROCOLA, 2006).

Saber Sábio (Savoir Savant): É o ponto de partida, o saber que foi produzido pelos cientistas e é apresentado em sua forma original redigida pelos autores e tem como público alvo a academia ou pesquisadores (SIQUEIRA, PIETROCOLA, 2006).

Saber a Ensinar (Savoir à Enseigner): Após o processo de transposição didática, o saber sábio passa a ser o saber a ensinar. É o saber encontrado nos livros didáticos, práticas de sala de aula e contexto escolar, lugares onde os conhecimentos científicos foram previamente filtrados e adaptados de forma que os alunos possam compreender (SIQUEIRA, PIETROCOLA, 2006).

Saber Ensinado (Savoir Enseigné): É o que foi realmente compreendido e apropriado pelo estudante. Cada estudante terá o seu.

A transformação dos diferentes tipos de saberes acontece em duas etapas:

Transposição Didática Externa (TDE) e a Transposição Didática Interna (TDI):

Transposição Didática Externa (TDE): “O longo processo de transformação dos saberes científicos em saberes a ensinar é realizado numa instituição (‘escondida’, ‘não-visível’, segundo Chevallard, 1991) intitulada de NOOSFERA (...)” (BRITO MENEZES, 2006, p.75).

Esse processo é resultado de ações de diferentes grupos que pensam os conteúdos relacionados ao ensino e estão fora da relação direta professor-aluno, mas interferem na mesma, como por exemplo, autores de livros didáticos, profissionais responsáveis pela BNCC, funcionários das secretarias de educação e MEC, isto é, a comunidade que estabelece o que deve ser ensinado na escola. Nessa etapa, temos a produção de materiais concretos como manuais, livros didáticos, paradidáticos e outros (BRITO MENEZES, 2006).

Transposição Didática Interna (TDI): Por trazer elementos conscientes e inconscientes, a TDI se torna uma tarefa árdua, uma vez que acontece dentro da sala de aula e tem como elemento humano responsável por essa transposição o professor, porém, não podemos inferir que a mesma depende única e exclusivamente dele. Podemos ressaltar que o professor não está na transposição didática, mas ele faz a transposição didática (BRITO MENEZES, 2006).

No decorrer da transposição didática interna acontece o desenvolvimento do conhecimento dentro da sala de aula, havendo relação direta professor-aluno para transformar o “saber ensinar” em “saber ensinado”.

Astolfi (1997), baseado no trabalho de Chevallard e Joshua, estipulou cinco regras que devem ser consideradas durante o processo de transposição didática: **(1) Modernizar o saber escolar, (2) Atualizar o Saber Escolar, (3) Articular o Novo**

Saber com o Antigo, (4) Transformar um saber em exercícios e problemas, (5) Tornar um Conceito Compreensível:

(1) Modernizar o saber escolar: Uma vez que a ciência está sempre evoluindo, é importante realizar análises periódicas dos conteúdos presentes nos livros didáticos a fim de efetuar uma aproximação com os novos saberes presentes no cotidiano dos alunos, uma vez que interferem diretamente na formação dos mesmos (ASTOLFI, 1997).

(2) Atualizar o Saber Escolar: Certos objetos do saber, com o passar do tempo, se tornam antiquados, ou seja, passam a agregar a cultura geral e dispensam o formalismo escolar, outros perdem o sentido. Atualizar o saber escolar é retirar essa formalização de conteúdos que se tornaram obsoletos, dando espaço para o que é mais moderno (ASTOLFI, 1997).

(3) Articular o Novo Saber com o Antigo: Realizar assimilações com o novo saber a fim de que o antigo se torne mais compreensível, porém, deve-se ter cautela ao introduzir novos conhecimentos para evitar que eles neguem ou refutem o antigo. Seu objetivo é tornar mais fácil o aprendizado (ASTOLFI, 1997).

(4) Transformar um saber em exercícios e problemas: Os objetos de ensino que possibilitam essa transformação têm mais importância no ambiente escolar dentre os que são restritos à teoria. É uma forma de avaliar como está sendo o aprendizado dos alunos (ASTOLFI, 1997).

(5) Tornar um Conceito Compreensível: O conhecimento deve ser adaptado/traduzido para uma linguagem mais simples com o objetivo de tornar a compreensão mais fácil. Essa adaptação deve mostrar ao aluno o que o conhecimento científico quis dizer. Durante a adaptação, é normal que haja deformações entre os saberes, porém, deve haver um controle para evitar que a simplificação fuja do que era o objetivo a ser ensinado (ASTOLFI, 1997).

CAPÍTULO 2 – OBSTÁCULO EPISTEMOLÓGICOS

O uso de diferentes estratégias de ensino, como metáforas, analogias e imagens, são comumente utilizadas por professores em sala de aula a fim de facilitar o aprendizado, porém, apesar de terem como objetivo propiciar a assimilação do

conteúdo, podem ser um entrave para o aprendizado caso não sejam adequadamente trabalhadas.

De acordo com Bachelard (1996), essas estratégias, quando não são devidamente trabalhadas, podem levar à formação de obstáculos epistemológicos, que nada mais é do que uma estagnação ou regressão ao ato de conhecer; não é uma dificuldade de aprendizagem ou falta dela.

O obstáculo epistemológico é algo que está na essência do sujeito e é inseparável do processo de aprendizagem e pode ser proveniente tanto de conhecimentos empíricos aprendidos na vida diária como também obtidos na escola. Eles inevitavelmente existem no processo de aquisição de conhecimento e criam barreiras entre o senso comum e o conhecimento científico, dificultando acesso às próprias ideias científicas, que são necessárias para o seu avanço (Bachelard, 1996).

É comum a produção de materiais didáticos e aulas pelo professor levar em consideração que o aluno já possui um discernimento sobre o assunto. Todavia, conhecer as dificuldades históricas e as advindas dos próprios alunos é indispensável para que o docente possa desenvolver uma forma de superar tais obstáculos. Bachelard (1996) diz que é quimérico construir um novo conhecimento quando existem concepções prévias enraizadas.

Em suma, a ideia de Bachelard acerca dos obstáculos epistemológicos equivale a romper com a realidade percebida e construir uma nova, levando em consideração pré-conceitos existentes e sua história. É conveniente destacar que os obstáculos surgem de um mesmo objetivo: o de simplificar o conhecimento. Bachelard não era contra a utilização de metáforas, analogias e imagens, apenas alertava para que fossem utilizados corretamente.

No livro “A formação do espírito científico”, publicado em 1938, Gaston Bachelard descreve dez diferentes tipos de obstáculos epistemológicos. Para esse trabalho serão discutidos todos eles: (1) experiência primeira, (2) conhecimento geral como obstáculo ao conhecimento científico, (3) obstáculo verbal, (4) conhecimento unitário e pragmático como obstáculo ao conhecimento científico, (5) obstáculo substancialista, (6) obstáculo realista, (7) obstáculo animista, (8) mito da digestão, (9) a libido e o conhecimento objetivo e (10) os obstáculos do conhecimento quantitativo.

2.1 EXPERIÊNCIA PRIMEIRA

A experiência primeira é o primeiro obstáculo da formação do espírito científico a ser superado. Ela desperta curiosidade, é divertida e provoca uma observação sedutora que deriva de um empirismo colorido que oferece um contentamento instantâneo.

A primeira experiência ou, para ser mais exato, a observação primeira é sempre um obstáculo inicial para a cultura científica. De fato, essa observação primeira se apresenta repleta de imagens; é pitoresca, concreta, natural, fácil. Basta descrevê-la para se ficar encantado (BACHELARD, 1996, p. 25).

Esse fenômeno é facilmente observado quando falamos de experimentação, podendo ser exemplificado através do “teste de chamas”. Os alunos se encantam com as cores e beleza das chamas; empirismo colorido; e também se atraem pelo perigo na realização do experimento. A maneira como é sugerida a realização da atividade prática pela maioria dos livros didáticos não contribui para a melhoria do aprendizado do aluno, pois favorece a criação de um espaço onde o aluno não faz questionamentos, e apenas ilustra o conhecimento teórico (GIANI, 2010). “Uma ciência que aceita as imagens é, mais que qualquer outra, vítima das metáforas. Por isso, o espírito científico deve lutar sempre contra as imagens, contra as analogias, contra as metáforas” (BACHELARD, 1996, p. 25).

Desta forma, quando se trata de experimentação, é essencial que o professor saiba conduzi-la, de forma que extraia rapidamente o abstrato do concreto, a fim de que a mesma não se torne apenas uma comprovação da teoria em sala de aula.

Nos livros didáticos, esse obstáculo é relacionado com a inserção de termos científicos sem a devida explicação dos mesmos (STADLER *et al.* 2018).

Para que esse obstáculo seja superado, é necessário que haja um movimento de diálogo entre o aluno e o professor, com a finalidade de substituir as noções do cotidiano pelo conhecimento científico e, para que isso aconteça, o professor necessariamente deve possuir um conhecimento científico sólido (PRÄSS, 2018).

2.2 O CONHECIMENTO GERAL COMO OBSTÁCULO AO CONHECIMENTO CIENTÍFICO

Após exposição às experiências marcadas por imagens e metáforas encantadoras, Bachelard traz o segundo obstáculo. [...] “A busca apressada da generalização leva muitas vezes a generalidades mal colocadas” (BACHELARD,

1996, p.70). “Em suma, mesmo seguindo um ciclo de ideias exatas, percebe-se que a generalidade imobiliza o pensamento, que as variáveis referentes ao aspecto geral ofuscam as variáveis matemáticas essenciais” (BACHELARD, 1996, p. 72).

A atração pelo universal e particular leva o pensamento à estagnação e proporciona um perigoso prazer intelectual. A generalização segue a trilha do senso comum e com isso, compreender um certo conceito se limita a uma ideia geral.

Para Bachelard, uma forma de superar esse obstáculo é criar uma palavra, no âmbito de compressão e extensão, que descreva essa atividade do pensamento empírico inventivo. É necessário incorporar as condições de aplicação à essência da teoria.

2.3 OBSTÁCULO VERBAL

Para Bachelard (1996), o obstáculo verbal é o mais difícil a ser superado, uma vez que se encontra apoiado em uma filosofia fácil. Trata-se de uma explicação verbal. Quando um termo que é intrínseco e muito relevante para alguém passa a ser utilizado para explicar um conceito que não está necessariamente ligado a ele, isto é, a explicação de um termo abstrato através de uma simples imagem ao invés de uma ideia. “O perigo das metáforas imediatas para a formação do espírito científico é que nem sempre são imagens passageiras; levam a um pensamento autônomo; tendem a completar-se, a concluir-se no reino da imagem” (BACHELARD, 1996, p. 101).

Podemos observá-los em livros didáticos de química quando são apresentados os elétrons livres em ligações metálicas, onde são utilizadas as palavras “nuvem” e “mar” de elétrons para explicar o fenômeno. Quando o aluno tem contato com esse termo, geralmente não consegue imaginar um aglomerado de elétrons; o que vem em sua mente é uma nuvem ou um mar, isto é, algo concreto e macroscópico (MIRANDA, ARAUJO, 2012). Para que uma teoria da abstração seja coerente, é necessário se afastar muito de imagens primitivas (BACHELARD, 1996).

2.4 OBSTÁCULO UNITÁRIO E PRAGMÁTICO

Esse obstáculo diz respeito a generalizações muito mais amplas relacionadas ao pensamento filosófico, onde o caráter utilitário de um fenômeno é usado como explicação. Para Bachelard, a maioria das generalizações exageradas originam-se de

uma indução pragmática ou utilitária. O conhecimento pragmático influencia a ideia de que a explicação para vários fenômenos correspondentes pode ser feita a partir de um único conceito, ou seja, a unidade é sempre buscada.

As diversas atividades naturais tornam-se assim manifestações variadas de uma só e única Natureza. Não é concebível que a experiência se contradiga ou seja compartimentada. O que é verdadeiro para o grande deve ser verdadeiro para o pequeno, e vice-versa (BACHELARD, 1996, p. 107).

A consequência dessa definição breve e sem a fundamentação adequada, que visou apenas uma explicação conveniente, é um aprendizado raso e incompleto.

2.5 OBSTÁCULO SUBSTANCIALISTA

O obstáculo substancialista para Bachelard (1996) é formado por ideias distintas e até mesmo contraditórias. São atribuídas tanto qualidades superficiais como profundas, tanto a qualidade manifesta como a qualidade oculta à substância, ocasionando uma ideia de uma substância material e concreta, sobrecarregando-a com sentidos e significados (BACHELARD, 1996). “Em outras palavras, as qualidades são encaradas como atributos das substâncias, deixando-se de perceber que as substâncias químicas são inteiramente relativas umas às outras e suas propriedades são frutos dessas relações” (BACHELARD, 1996 *apud* LOPES, 1990, p.51)

O substancialismo perde o sentido em sua totalidade quando falamos da Mecânica Quântica ao individualizar o elétron por números quânticos a partir de cálculos probabilísticos. Nos livros didáticos, saber química é conhecer as substâncias da mesma forma que conhecemos os objetos ao nosso redor, isto é, suas cores, sabores, onde encontrá-las, mas não se é discutido que seja qual for a propriedade, é fruto de uma interação (LOPES, 1993). Podemos usar como exemplo a atribuição da cor amarela à luz e associá-la aos fótons.

Considerando a atribuição de características do todo à uma parte específica, essa substancialização impede o progresso do pensamento científico, inviabilizando possíveis ideias e críticas a respeito, justamente pelo fato de que o espírito se satisfaz com essas poucas características.

2.5 OBSTÁCULO REALISTA

O obstáculo realista é a única filosofia inata e está diretamente relacionado à experiência primeira. Quando pensamos em uma perspectiva realista e substancialista, ficamos apenas na observação, e a conclusão formada será apenas a visualização de um fenômeno sem sua real característica, a abstrata. Isso ocorre visto que o realista possui uma generalização apressada e inadequada por causa de sua angústia para formular leis gerais para diferentes fenômenos e se apoia apenas sobre os dados dos sentidos, portanto, a descrição do aspecto geral mascara e obstaculiza a compreensão dos aspectos matemáticos dos fenômenos (LOPES, 1990).

Nos livros didáticos, esse obstáculo é muito presente conseqüentemente em sala de aula (LOPES, LÜDKE, 2016). Podemos observá-lo quando falamos de peso atômico e molecular e utilizamos uma “balança imaginária”, que dificulta a compreensão dos cálculos químicos (LOPES, 1990).

2.6 OBSTÁCULO ANIMISTA

Um obstáculo possível de se delimitar com precisão é o animista. Bachelard o classifica como o verdadeiro fetichismo da vida. Com ele, é possível estabelecer exemplos nítidos da noção de obstáculo epistemológico. É definido pela atribuição de características de seres vivos / animados a quem não possui tais características, isto é, fenômenos inanimados. “Em suma, aos entraves quase normais que a objetividade encontra nas ciências puramente materiais, vem juntar-se uma intuição ofuscante que considera a vida como um dado claro e geral” (BACHELARD, 1996, p. 185)

O animismo bloqueia a abstração e a objetividade, prende o cientista no espaço concreto, na experiência individualizada e não racionalizada (LOPES, 1990).

2.6 O MITO DA DIGESTÃO

A internalização de um conceito é essencial para a aprendizagem, entretanto pode ser desenvolvida uma falsa ideia de internalização do real, gerando um *status* de fonte de força, alimento (BÔAS, FILHO, 2018). Para Bachelard, a digestão é a origem mais forte do realismo, da mais bruta avareza. A função de posse é muito destacada em textos pré-científicos.

Essa posse é objeto de todo um sistema de valorização. O alimento sólido e consistente é mais prezado. O beber não é nada diante do comer. Se a inteligência se desenvolve ao seguir a mão que apalpa um sólido, o inconsciente se arraiga ao mastigar, de boca cheia, um prato de macarrão. É fácil perceber, na vida cotidiana, esse privilégio do sólido e da massa. Encontram-se sinais disso também em vários livros pré-científicos (BACHELARD, 1996 p. 210).

2.7 A LIBIDO E O CONHECIMENTO OBJETIVO

O mito da digestão se enfraquece quando o comparamos com o mito geração. O ter e ser não são absolutamente nada perante ao devir. Para tornar-se é preciso querer. É então criada uma associação ao conceito de libido e apetite. Para Bachelard, o apetite é mais brutal, porém, a libido é muito mais poderosa. Enquanto o apetite é imediato, a libido equipara-se aos projetos e pensamentos a longo prazo. “O apetite se extingue no estômago saciado. A libido, mal acabou de ser satisfeita, reaparece” (BACHELARD, 1996, p. 225).

A libido representa a relação do sujeito com o outro e deixa protela a relação entre o sujeito e o objeto em que se observa o fenômeno. Tal relação sexuada dos fenômenos científicos externa uma visão científica da ciência como: Substâncias pura e impuras (BÔAS, FILHO, 2018).

2.8 OS OBSTÁCULOS DO CONHECIMENTO QUANTITATIVO

Consiste no último obstáculo epistemológico. Para Gaston Bachelard (1996), a busca por um conhecimento imediato, por ser qualitativo, é falso. Isso se deve pelo fato de que quando procuramos muita precisão, marcamos o fenômeno com certezas prematuras e impressões subjetivas, pois grandeza não significa objetividade.

O cientista crê no realismo da medida mais do que na realidade do objeto. O objeto pode, então, mudar de natureza quando se muda o grau de aproximação. Pretender esgotar de uma só vez a determinação quantitativa é deixar escapar as relações do objeto. Quanto mais numerosas forem as relações do objeto com outros objetos, mais instrutivo será seu estudo. Mas, quando as relações são numerosas, estão sujeitas a interferências e, bem depressa, a sondagem discursiva das aproximações torna-se uma necessidade metodológica. A objetividade é afirmada aquém da medida, enquanto método discursivo, e não além da medida, enquanto intuição direta de um objeto. É preciso refletir para medir, em vez de medir para refletir. Quem quiser fazer a metafísica dos métodos de mensuração deve dirigir-se ao criticismo, e não ao realismo (BACHELARD, 1996, p. 262).

Quando falamos em quantidade e buscamos por ela demasiadamente, pecamos em qualidade. Deixamos escapar a realidade do objeto em nome de uma determinação qualitativa, visto que os próprios objetos de medida são imprecisos.

Impossibilitamos a construção de um conhecimento científico e crítico por parte do aluno.

CAPÍTULO 3 - UMA NEM TÃO BREVE HISTÓRIA DA MECÂNICA QUÂNTICA

O mundo físico vigente desde a época de Isaac Newton (1643-1727), dispunha de leis que obedeciam um sistema determinístico, isto é, uma vez que se conhecem as forças que atuam sobre um determinado corpo e sua massa, além de sua velocidade e posição em um determinado instante, era possível determinar sua trajetória, ou seja, era possível prever seu estado em qualquer instante. Entretanto, esse sistema conhecido como Mecânica Clássica é rompido no início do século XX com uma nova maneira de pensar a natureza, denominada de Mecânica Quântica (POLKINGHORNE, 2016)

Atualmente, a Mecânica Quântica ocupa o espaço de teoria fundamental, capaz de descrever a evolução dinâmica e o comportamento de todos os corpos presentes na natureza. Seus avanços são essenciais para o mundo em que vivemos hoje. Sem ela, não seria possível produzir novas tecnologias, e aparelhos como lasers, ressonância magnética e leitores de CDs não existiriam (SILVA, 2007).

3.1 O PROBLEMA DA RADIAÇÃO DO CORPO NEGRO

A Teoria Quântica inicia-se no início do século XX quando Max Ludwig Planck (1858-1847) estuda a radiação do corpo negro (ROSA, 2004).

Um corpo negro absorve completamente toda a radiação que incide sobre ele sem que nada seja refletido. Na tentativa de explicar experimentalmente esse fenômeno, os pesquisadores Rayleigh e Jeans desenvolveram uma teoria levando em consideração que a resposta dependeria apenas da temperatura do corpo.

Após a aplicação da física estatística, cujas ideias já haviam sido evidenciadas, foi obtido um resultado desastroso, que previa que uma quantidade infinita de energia estaria concentrada nas frequências mais altas do espectro, resultado que não era plausível, uma vez que a física clássica estatística previa que cada grau de liberdade do sistema receberia o mesmo volume fixo de energia, cuja quantidade depende

apenas da temperatura. Essa situação ficou conhecida como “Catástrofe do Ultravioleta” (POLKINGHORNE, 2016, p.18-19).

Foi então em 1900 que Planck conseguiu explicar os resultados experimentais observados ao considerar que a energia de cada oscilador eletromagnético era limitada a valores discretos e que a mesma não poderia ser alterada de forma arbitrária. Tal descoberta, cujos princípios confrontavam o ponto de vista da física clássica, ficou conhecida como **Quantização da Energia** (ATKINS, PAULA, 2008, p. 222).

Ele postulou que a radiação era emitida ou absorvida por meio de *quantas* de energia e de maneira descontínua, onde o conteúdo energético de um desse *quanta* era proporcional à frequência da radiação, que pode ser representada através da Equação de Planck (**Equação 1**), onde h representa a constante de proporcionalidade, conhecida como constante de Planck e f a frequência da radiação

$$E = hf \text{ (Equação 1)}$$

Tais descobertas caracterizam então o surgimento do termo “**Quântico**”, cujo significado expressa a natureza da Mecânica Quântica, onde é indispensável a presença de quantidades de energia com valores discretos.

3.2. EINSTEIN E A QUÂNTICA

Em 1905, Albert Einstein (1879-1955) revela uma variedade de divergências nas primeiras páginas de seu trabalho "*Über einen die Erzeugung und Verwandlung des Lichtes betreffenden heuristischen Gesichtspunkt* (Sobre um ponto de vista heurístico a respeito da produção e transformação da luz)" acerca da teoria corpuscular e ondulatória. O cientista evidencia sua argumentação em defesa da teoria corpuscular (matéria), e acredita que a teoria ondulatória é ideal para explicações de fenômenos puramente ópticos. No entanto, se precisarmos considerar a interação entre luz e matéria, é uma má ideia pensar na luz como uma onda. Isso porque a suposição de que a luz é uma onda torna impossível explicar fenômenos onde a luz é absorvida e emitida (SOARES, 2016).

A fim de explicar fenômenos como a radiação do corpo negro e fluorescência, geração de raios ultravioleta e catódicos, Einstein propõe que a energia luminosa é distribuída de forma irregular no espaço, sendo que uma dessas considerações é a

ideia de átomos concentrados de energia, que tornam os "quanta" de energia, mais relevantes em seu trabalho.

Essa consideração, além de ousada, adotava ideias e conceitos contrários à Física Clássica, que acabavam por ab-rogar as equações de Maxwell, que sustentavam as explicações acerca dos fenômenos eletromagnéticos da época.

Visto que as leis de Maxwell já não eram mais cabíveis uma vez que Einstein rompe com as concepções clássicas, seu trabalho passa a ser fundamentado nos estudos de W. Wien, que se respalda na verificação da distribuição do comprimento de onda da radiação de uma cavidade térmica, que admitia que quando houvesse variação do volume de um gás, o efeito Doppler ocasionaria mudança no comprimento de onda. Baseado nisso, Wien estabeleceu que a temperatura e a frequência de uma substância deveriam variar de maneira proporcional entre si quando seu volume sofresse variação de maneira adiabática.

Logo, Einstein alega que: “A radiação monocromática de baixa densidade (dentro dos limites de validade da fórmula da radiação de Wien) comporta-se termodinamicamente como se ela consistisse em *quanta* de energia mutuamente independente de magnitude” (EINSTEIN, 1905, p.97 apud SOARES, 2016, p.34).

A conclusão dos estudos realizados por Albert Einstein no artigo publicado em 1905 permitiu a explicação de diversos fenômenos, especialmente o efeito fotoelétrico. Entretanto, a abordagem heurística, isto é, pautada principalmente em fatos em contrapartida a teoria, dificultou sua aceitação (DIONÍSIO, 2005).

Para ele, o efeito fotoelétrico dá-se a partir de um *quantum* de energia incidente em uma placa metálica, que a penetra e transfere sua própria energia para o elétron. O físico, todavia, não descartava o cenário em que apenas parte da energia desse *quantum* era transferida para o elétron. Uma vez que ocorre a transferência de energia, parte dela é consumida, a fim de que o elétron se movimente até a superfície do metal, podendo ou não ser ejetado instantaneamente, característica de um efeito quântico (SOARES, 2016).

A fórmula então proposta por ele admite que haja proporcionalidade entre a energia cinética dos elétrons ejetados com a frequência da luz incidente, entretanto, essa explicação não foi aceita inicialmente pela comunidade científica, fazendo com que inúmeros físicos realizassem atividades experimentais para conseguir mostrar experimentalmente que Einstein estava enganado. Contudo, Robert A. Millikan (1868-

1953) evidencia em suas pesquisas a validade experimental da equação de Einstein, fato que gratificou Einstein com um Prêmio Nobel da Física em 1921. Millikan, por causa de seu trabalho, também foi laureado em 1923 (DIONÍSIO, 2005) (MANTOVANI, 2015).

A fim de caracterizar algumas inconsistências relacionadas a nomenclatura, vale ressaltar que termo *quantum* de luz só foi substituído por fóton em 1926 pelo físico-químico Gilbert Lewis (1875 -1946) através de um artigo publicado na revista Nature (FILGUEIRAS, 2016). De maneira análoga, o termo efeito fotoelétrico não é retratado no artigo de Einstein, uma vez que para ele era caracterizado como: raios catódicos gerados por ultravioleta (SOARES, 2016).

3.3 MODELOS ATÔMICOS

Enquanto isso, em 1911 E. R. Rutherford (1871-1937) declarou incorreto o modelo atômico proposto por J. J. Thomson (1856-1940) ao realizar experimentos utilizando feixes de partículas α e folhas metálicas extremamente finas, que indicaram que pouquíssimas partículas sofriam deflexão, ao contrário da ideia proposta por Thomson, que sugeria que as partículas deveriam sofrer praticamente uma deflexão total. Esse experimento sugeriu que a folha metálica era predominantemente vazia, mas que existiam regiões muito pequenas com alta densidade mássica. Portanto, diante das evidências experimentais, Rutherford propõe que o átomo deveria ser constituído por uma massa central densa cercada por massas periféricas de carga oposta à do núcleo (BASSI, 2015).

O que parecia um sucesso, na realidade era incoerente com a teoria clássica, uma vez que as massas periféricas estariam em constante movimento circular, o que ocasionaria a perda de energia a cada volta culminando em um colapso entre a massa central e as massas periféricas. Portanto, o átomo de Rutherford era instável analisado sob a luz da física clássica.

No ano de 1913, um físico chamado Niels Bohr (1885-1962) buscou executar as ideias trazidas por Rutherford em uma teoria de constituição do átomo através de dois artigos publicados na revista *Philosophical Magazine and Journal of Science*, intitulado “*On the Constitution of Atoms and Molecules*”, Partes I e II, que o levou à conclusão de que a termodinâmica clássica era inadequada para explicar as propriedades dos átomos levando em consideração um modelo como o de Rutherford. Isso fez com que ele aplicasse aos átomos ideias semelhantes às de Max Planck para

a radiação (CORRÊA, 2014). A partir disso, Bohr destaca as principais hipóteses de sua teoria:

1. Um sistema atômico emite (ou absorve) energia apenas quando passa de um estado estacionário (estado de energia fixa) a outro.
2. Nos estados estacionários, o equilíbrio dinâmico de um sistema é regido pelas leis da mecânica clássica. Essas leis não são válidas nas transições entre diferentes estados.
3. A radiação emitida durante a transição de um sistema de um estado estacionário a outro é homogênea. A relação entre a frequência, ν , e a energia emitida, E , é $E = h\nu$, onde h é a constante de Planck.
4. Os diferentes estados estacionários de um sistema simples, como o de um elétron que gira em torno de um núcleo positivo, são determinados pela condição de que a razão entre a energia total emitida na formação da configuração e a frequência de revolução do elétron seja um múltiplo inteiro de $h/2$. Admitindo que a órbita do elétron é circular, essa hipótese equivale a supor que o momento angular do elétron em torno do núcleo é um múltiplo inteiro de $h/2\pi$ ¹
5. O estado permanente de um sistema atômico, isto é, o estado no qual a energia emitida é máxima, é determinado pela condição de que o momento angular de cada elétron em torno do centro de sua órbita seja igual a $h/2\pi$ (PEDUZZI, 2008, p. 180-181).

Através desses postulados, Bohr conseguiu deduzir uma equação semelhante a equação empírica de Rydberg e explicar o espectro atômico do átomo de hidrogênio. Para isso, ele aplicou as ideias de Planck sobre a quantização da energia, isto é, fez com que os elétrons se movessem somente em órbitas discretas (CASTRO, 2015) (LOPES, 2009).

O resultado do teste da chama, realizado por Fraunhofer em 1914 com sódio, também pode ser justificado após os postulados de Bohr. Quando queimamos um sal metálico, fornecemos energia em forma de calor aos elétrons. Ao receber a energia, um elétron passa para um nível de maior energia, fenômeno que chamamos de **transição eletrônica**. O retorno do elétron à sua camada de origem ocorre através da liberação da energia na forma de ondas eletromagnéticas, no caso do sódio, luz visível, percebida através da coloração amarela.

Contudo, apesar do sucesso da teoria de Bohr, ele não tinha uma justificativa de porque as órbitas eram quantizadas e não conseguia explicar muitos fenômenos observados na natureza (CASTRO, 2015). Por mais que o modelo de Bohr seja considerado como um passo muito importante na elaboração de modelos que

¹ $h/2\pi = \hbar$, conhecida como Constante de Planck reduzida

representem a estrutura da matéria, ele ainda apresentava dificuldade para explicar espectros de átomos mais completos (PARENTE *et al.*, 2013).

3.4 MODELO QUÂNTICO

Em 1924, Louis de Broglie (1892-1987) sugeriu em sua tese de doutorado que se a luz podia se manifestar de forma ondulante e corpuscular, como forma correspondente, talvez partículas como elétrons também pudessem manifestar propriedades ondulatórias.

Em 1925, uma experiência realizada pelos físicos americanos Clinton Davisson (1881-1958) e Lester Germer (1896-1971) confirmou experimentalmente a hipótese de Broglie ao observar a difração de elétrons em sólidos cristalinos, uma propriedade característica de ondas. Quase ao mesmo tempo, na Escócia, G.P. Thomson mostrou que um feixe de elétrons era difratado ao passar por lâmina de ouro delgada.

A experiência de Davisson-Germer, após ser repetida com outras partículas, demonstrava com propriedade que as partículas possuíam propriedades ondulatórias. A conclusão obtida é que não apenas a radiação eletromagnética possui o caráter classicamente atribuído à partículas, como também os elétrons e todas as outras partículas possuem um caráter classicamente atribuído às ondas. Esse duplo caráter ficou conhecido como **dualidade onda-partícula** (ATKINS, PAULA, 2008).

Em 1926, Peter Debye (1884-1966) e Ewin Schrödinger (1887-1961) ao conversarem sobre a teoria de Broglie, concordaram que não a entendiam. Isso fez com que Debye solicitasse a Schrödinger a preparação de um evento científico que buscava promover um espaço de conversa sobre o tema em questão. Poucos meses depois, como consequência dessa preparação, Schrödinger formulou a mecânica ondulatória e conseqüentemente a Equação de Schrödinger (NUSSENZVEIG, 2010).

A Mecânica Quântica considera a dualidade onda-partícula da matéria, admitindo que ao invés de um deslocamento em uma trajetória perfeitamente definida, uma partícula se distribuirá através do espaço como uma onda. A representação matemática da onda na Mecânica Quântica substituiu o conceito clássico de trajetória e é designada como **função de onda**, representada pela letra grega Ψ (psi) (ATKINS, PAULA, 2008).

Existe uma função de onda associada a cada sistema físico que o descreve completamente. Obter a função de onda do sistema permitirá o alcance de uma solução que mais se aproxima dos resultados experimentais para ele. Ao resolvermos

a equação de onda para cada sistema específico, teremos o aparecimento natural dos **números quânticos** (CASTRO, 2015).

A interpretação probabilística para a função de onda Ψ foi proposta por Max Born em 1928 e lhe rendeu o prêmio Nobel em 1954 (1882-1970) (NUSSENZVEIG, 2010). Born utilizou uma analogia da teoria ondulatória da luz, onde o quadrado da amplitude de uma onda eletromagnética em uma determinada região do espaço é entendido como uma medida de probabilidade de se encontrar um fóton nessa região do espaço.

A interpretação de Born acerca da função de onda opera como o quadrado do módulo da função de onda $|\Psi|^2$, e esse valor em um determinado ponto é proporcional a encontrarmos a partícula nas vizinhanças desse ponto, dessa maneira, $|\Psi|^2$ é a **densidade de probabilidade** (ATKINS, PAULA, 2008). Em 1952, David Bohm apontou definitivamente a **densidade de probabilidade** como sendo uma boa medida de densidade eletrônica em regiões do espaço (BOHM, 1952).

A fim de abreviar o termo “função de onda orbital para um elétron”, Robert Mulliken (1896-1986) (1932, p. 50) introduziu o termo **Orbital** (LIMA, SILVA, 2019).

Se tomarmos como base a Mecânica Clássica, que descreve os objetos em escala macroscópica, temos a noção de que se um objeto está em movimento, significa que ele percorreu ou está percorrendo um determinado caminho, que é representado através de uma trajetória. Para defini-la, devemos conhecer, em um determinado instante, a posição do objeto no espaço, a direção do seu movimento, as forças que atuaram, atuam ou atuarão sobre ele e a sua velocidade. Com essas informações, através da matemática, conseguimos descrever a sua trajetória. Entretanto, isso não funciona para sistemas quânticos, onde é impossível prever com precisão a velocidade e a posição em um determinado instante. Essa incerteza é uma característica fundamental da Mecânica Quântica, esclarecida em 1927 por Heisenberg (1901-1976), que afirmou a impossibilidade de especificar, simultaneamente e com precisão, o momento e a posição de uma partícula. Tal afirmação ficou conhecida como **princípio da incerteza de Heisenberg**.

4. CAPÍTULO 4- METODOLOGIA

Neste trabalho foi adotado o método qualitativo de pesquisa, isto é, fundamentado na formulação de hipóteses, cujo objetivo é verificar os possíveis

obstáculos epistemológicos referentes à Química Quântica presentes nos livros didáticos.

A técnica de tratamento de dados empregada foi a Análise de Conteúdo (AC), definida como “*um conjunto de técnicas de análise das comunicações*” (BARDIN, 2011, p. 37, grifo da autora) e fundamentada na concepção de Laurence Bardin, professora da Universidade de Paris V, que a empregou na investigação psicológica e no estudo das comunicações de massas (2011).

Com o propósito de sistematização da Análise de Conteúdo de Bardin (2011), a análise foi feita em três fases: (1) pré-análise; (2) exploração do material; e (3) tratamento dos resultados, inferência e interpretação.

A **Pré-Análise** é uma fase organizacional, possui três propósitos que não detém cronologia, sendo eles:

- A escolha dos documentos que serão submetidos à análise;
- Formulação de hipóteses e objetivos;
- Definir indicadores responsáveis pela fundamentação e análise final;

O objetivo principal desta pesquisa, bem como o universo dos documentos a serem analisados, foram pré-estabelecidos como sendo uma análise dos possíveis obstáculos epistemológicos referentes à Química Quântica. Uma vez que o universo de análise foi definido, fez-se necessário a constituição de um *corpus*. O conjunto de documentos para que fossem sujeitados aos procedimentos de análise seguiu três regras (BARDIN 2011);

- I. Regra da exaustividade.
- II. Regra de não seletividade.
- III. Regra de pertinência.

Seguindo a primeira e terceira regra, o *corpus* foi constituído pelos Livros Didáticos de Química aprovados pelo Programa Nacional do Livro e Material Didático (PNLD) de 2018 e 2021. Todos os materiais que dispunham tais características foram

analisados de forma a atender à segunda regra. O resultado retornou seis coleções referentes à 2018, cada uma constituída por três livros didáticos que são respectivamente responsáveis por abordar conteúdos análogos ao primeiro, segundo e terceiro ano do ensino médio, e sete coleções referentes à 2021, cada uma constituída por seis livros didáticos também responsáveis por conter os conteúdos relativos aos três anos do ensino médio.

O primeiro índice estabelecido foi o conteúdo de Química Quântica. Para localizá-lo, foi realizada uma leitura diagonal de cada um dos três volumes de cada uma das seis coleções. Para Bardin (2011), tal leitura tem como propósito estabelecer um contato inicial com os documentos de maneira pouco precisa e orientada a fim de que vagarosamente, conforme as hipóteses a respeito do material e suas possíveis aplicações venham a surgir, se torne cada vez mais precisa.

A partir dos resultados da pré-análise, iniciou-se a **exploração** propriamente dita do material. Nela, foi avaliada a transposição didática do conteúdo relativo aos conceitos pré-determinados, com a intenção de verificar os possíveis obstáculos epistemológicos existentes, ou seja, presença de (1) experiência primeira, (2) conhecimento geral como obstáculo ao conhecimento científico, (3) obstáculo verbal, (4) conhecimento unitário e pragmático como obstáculo ao conhecimento científico, (5) obstáculo substancialista, (6) obstáculo realista, (7) obstáculo animista, (8) mito da digestão, (9) a libido e o conhecimento objetivo e (10) os obstáculos do conhecimento quantitativo.

Os conceitos de quântica definidos aprioristicamente para análise são: (I) Quantização da Energia; (III) Fóton; (IV) Transição Eletrônica; (V) Orbital; (VI) Números Quânticos; (VII) Quântica

Com o intuito de facilitar as referências, as coleções referentes ao PNLD 2018 serão enumeradas da seguinte forma: L1 (REIS, 2016), L2 (MACHADO; MORTIMER, 2016), L3 (BRUNI *et al.* 2016), L4 (NOVAIS; TISSONI, 2016), L5 (CISCATO *et al.* 2016), L6 (SANTOS; MÓL, 2016) conforme pode ser visualizada no quadro 01.

QUADRO 01: INFORMAÇÕES GERAIS ACERCA DOS LIVROS DE QUÍMICA DO PNLD 2018

LIVRO	TÍTULO	AUTOR	EDITORA	ANO
L1	Química	Martha Reis	Ática	2016

L2	Química	Eduardo Fleury Mortimer e Andréa Horta Machado	Scipione	2016
L3	Ser Protagonista	Julio Cezar Foschini Lisboa, Aline Thaís Bruni, Ana Luiza Petillo Nery, Rodrigo Marchiori Liegel e Vera Lúcia Mitiko Aoki	SM	2016
L4	Vivá	Vera Lúcia Duarte de Novais e Murilo Tissoni Antunes	Positivo	2016
L5	Química	Carlos Alberto Ciscato, Luis Fernando Pereira, Emiliano Chemello e Patrícia Proti	Moderna	2016
L6	Química Cidadã	Wildson Santos e Gerson Mól (coordenadores)	AJS	2016

As referências acerca do PNLD 2021 podem ser consultadas através do quadro 02 e serão identificadas da seguinte maneira: L7 (LOPES; ROSSO, 2020), L8 (THOMPSON *et al.* 2020), L9 (SANTOS *et al.* 2020), L10 (MORTIMER *et al.* 2020), L11 (AMABIS *et al.* 2020), L12 (GODOY *et al.* 2020) e L13 (FUKUI *et al.* 2020).

Por fim, o *corpus* foi separado em unidades de registros, possibilitando que fosse realizada a inferência e interpretação do material.

QUADRO 02: INFORMAÇÕES GERAIS ACERCA DOS LIVROS DE QUÍMICA DO PNLD 2021

L7	Ciências da Natureza Lopes & Rosso	Sônia Lopes e Sérgio Rosso	Moderna	2020
L8	Conexões	Miguel Thompson, Eloci Peres Rios, Walter Spinelli, Hugo Reis, Blaidi Sant'Anna, Vera Lúcia Duarte de Novais e Murilo Tissoni Antunes	Moderna	2020
L9	Diálogo	Kelly Cristina dos Santos, Éverton Amigoni Chinellato, Rafael Aguiar da Silva, Marissa Kimura, Ana Carolina N. dos Santos Ferraro, André Luis Delvas Fróes, Marcela Yaemi Ogo e Vanessa S. Michelan	Moderna	2020
L10	Matéria, Energia e Vida	Eduardo Mortimer, Andréa Horta, Alfredo Mateus, Arjuna Panzera, Esdras Garcia, Marcos Pimenta, Danusa Munford, Luiz Franco e Santer Matos	Scipione	2020
L11	Moderna Plus	José Mariano Amabis, Gilberto Rodrigues Martho, Nicolau Gilberto Ferraro, Paulo Cesar Martins Penteadó, Carlos Magno A. Torres, Júlio Soares, Eduardo Leite do Canto e Laura Celloto Canto Leite	Moderna	2020
L12	Multiversos	Leandro Godoy, Rosana Maria Dell'Agnolo e Wolney C. Melo	FTD	2020

L1 3	Ser Protagonista	Ana Fukui, Ana Luiza P. Nery, Elisa Garcia Carvalho, João Batista Aguilar, Rodrigo Marchiori Liegel e Vera Lucia Mitiko Aoki	SM	2020
---------	------------------	--	----	------

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Inicialmente os livros foram lidos de forma fluante a fim de detectar os momentos em que as coleções abordavam o conteúdo referente a quântica. O resultado pode ser observado no quadro 03 para os livros do PNLD 2018.

Quadro 03: Resultado da pré-análise PNLD 2018

Livro	Volum e	Capítulo / Unidade e ou Tema em que aborda o conteúdo		Tópico em que o conteúdo é abordado
L1	1	Capítulo 6: Eletricidade e radioatividade	Unidade 3: Poluição eletromagnética	Investigação da natureza da luz Espectros dos Elementos
L2	1	Capítulo 6: Modelos para o átomo e uma introdução à tabela periódica		A natureza ondulatória da luz e o espectro eletromagnético A interação entre radiação e matéria Os espectros atômicos e o modelo de Bohr O modelo atual – comportamento dual do elétron, incerteza e orbital Números Quânticos, distribuição eletrônica e a organização da tabela periódica moderna
L3	1	Capítulo 5: Modelos atômicos e característica dos átomos	Unidade 2: Do macro ao micro	Modelo Atômico de Bohr
L4	-	-		-
L5	1	Capítulo 3: Elementos Químicos e tecnologia: modelos sobre a constituição da matéria	Tema 4: Os átomos e os elementos químicos	Modelo Atômico de Bohr
L6	1	Capítulo 4: Do atomismo aos modelos atômicos		Modelo Atômico de Bohr
L6	3	Capítulo 6: Modelo Quântico		A visão clássica do mundo físico Modelo quântico para o átomo

			O modelo de Niels Bohr, a função de onda e os orbitais atômicos
--	--	--	---

A mesma leitura foi realizada nos livros do PNLD 2021 e o resultado pode ser observado no Quadro 04.

Quadro 04: Resultado da pré-análise PNLD 2021

Livro	Volume	Capítulo / Unidade e ou Tema em que aborda o conteúdo		Tópico em que o conteúdo é abordado
L7	1: Evolução e Universo	Unidade 1: Explorando o Universo e a vida	Tema 1: Cosmologia	Como tudo começou? A teoria do Big Bang
		Tema 2: A formação dos átomos		Espectros Atômicos Distribuição eletrônica por subníveis de energia
	2: Energia e Consumo Sustentável	Unidade 1: Energia e Vida	Tema 4: Elementos da física quântica	A hipótese quântica de Planck
L8	1: Matéria e Energia	Capítulo 1: O mundo que nos cerca: do que a matéria é feita		A questão não respondida por Rutherford e o modelo atômico de Rutherford-Bohr
L9	1: O universo da ciência e a ciência do universo	Capítulo 2: Organizando a matéria		Teoria atômica de Bohr
				A teoria atômica atual
L10	3: Materiais, Luz e Som: Modelos e propriedades	Capítulo 3: Modelos atômicos e propriedades dos materiais		Técnicas para observações de átomos
		Capítulo 5: A luz e as ondas eletromagnéticas		A teoria quântica da luz
		Capítulo 6: O surgimento da tabela periódica, o modelo atômico de Böhr e níveis de energia		O modelo de Böhr e níveis de energia
		Capítulo 7: Modelo quântico para os átomos e a tabela periódica moderna		Ondas mecânicas estacionárias em uma e duas dimensões Números Quânticos e a distribuição eletrônica
	5: Desafios contemporâneos das Juventudes	Capítulo 1: Analisando a composição e a ação do cigarro e das bebidas alcoólicas		Orbitais Atômicos
L11	1: O conhecimento científico	Capítulo 4: Modelos atômicos e tabela periódica		Modelo atômico de Bohr Modelo atômico mecânico-quântico
	5: Ciência e Tecnologia	Capítulo 12: Nanotecnologia		Pontos quânticos
	6: Universo e Evolução	Capítulo 8: Noções de Física Quântica e Física Nuclear		O surgimento da Física quântica
				Efeito fotoelétrico

L12	1: Matéria Energia e a Vida	Unidade 2: Estudando a matéria	Tema 1: Átomos	Modelos Atômicos
	6: Ciência, Tecnologia e Cidadania	Unidade 4: Física contemporânea	Tema 2: Radiações eletromagnéticas e suas aplicações	Energia quantizada
			Tema 3: Tópicos de Física Moderna	Teoria dos quanta Efeito fotoelétrico
L13	1: Composição e estrutura dos corpos	Capítulo 2: Modelos atômicos e características dos átomos		Espectros atômicos e características dos átomos
				Modelo atômico de Rutherford-Bohr
		Capítulo 3: Física Quântica		O trabalho de Planck
				O efeito fotoelétrico A descoberta do Spin

Conforme pôde ser observado, apenas o L4 não aborda a Quântica em sua coleção. Por outro lado, o L6, L10, L11, L12 e L13 apresentam um capítulo/unidade e ou tema dedicado ao assunto em questão.

A partir do resultado da pré-análise, foi realizado o processo de categorização por “caixa”, em que os elementos surgem conforme são encontrados. Para endossar a excelência das categorias, o processo embasou-se nas qualidades determinadas por Bardin (2011, p. 149 - 150); *Exclusão mútua* – garantindo que cada elemento exista apenas em uma categoria e não haja ambiguidade; *Homogeneidade* - assegurando que exista apenas um princípio de classificação; *Pertinência* – A categoria escolhida reflete a intenção da investigação; *Objetividade e fidelidade* – As variáveis foram escolhidas de maneira clara e precisa, a fim de evitar distorções referentes à subjetividade; *Produtividade* – pragmatismo, garantindo dados férteis, dados exatos e novas hipóteses.

Nessa pesquisa, a categorização partiu de seis conceitos essenciais na área de Química Quântica que foram estabelecidos a priori, ou seja, antes da leitura de todo o *corpus* de pesquisa: (I) Quantização da Energia, (II) Fóton, (III) Transição Eletrônica, (IV) Orbital, (V) Números Quânticos, (VI) Quântica

O resultado da exploração das seis coleções aprovadas pelo PNLD 2018 e sete pelo PNLD 2021, designada a encontrar a ocorrência dos conceitos determinados a priori podem ser observados no Quadros 05, onde “-” indica a ausência do conceito, “X” a presença e discussão do conceito, e “*” a presença do conceito sem discussão

Quadro 05: Ocorrência dos seis conceitos - chave escolhidos nos livros analisados do PNLD 2018 e 2021.

Conceito	PNLD 2018						PNLD 2021						
	L1	L2	L3	L4	L5	L6	L7	L8	L9	L10	L11	L12	L13
Quantização da Energia	X	X	X	-	X	X	X	*	X	X	X	X	X
Fóton	X	-	-	-	-	X	X	*	*	X	X	X	X
Transição Eletrônica	X	X	X	-	X	X	X	-	X	X	X	X	X
Orbital	X	X	X	-	X	X	X	-	X	X	X	-	*
Números Quânticos	-	X	-	-	-	X	-	-	-	X	-	-	X
Quântica	-	-	-	-	-	-	X	-	-	-	-	-	-

Cada conceito será individualmente discutido nos subtópicos abaixo.

5.1 QUANTIZAÇÃO DA ENERGIA

Os livros aprovados pelo PNLD 2018 abordaram e discutiram a Quantização da Energia em cinco (L1, L2, L3, L5, L6) dos seis livros analisados. Em contrapartida, o mesmo conceito no PLND 2021 apareceu em todas as coleções analisadas. Entretanto, uma (L8) das sete coleções apenas citou o termo, sem qualquer explicação.

A exploração do material indicou a expressão **pacotes de energia** como a preferida pelos autores para explicar a quantização da energia, sendo utilizada em oito livros, (L1, L3, L6, L7, L9, L10, L12 e L13). Como exemplos podemos observar o trecho extraído do L6:

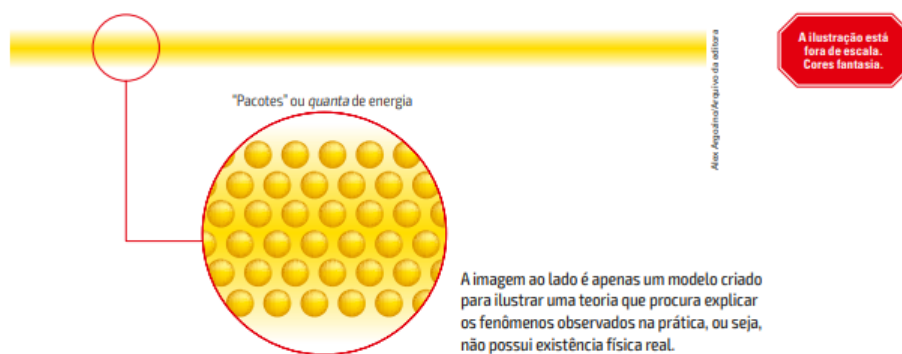
O físico alemão Max Karl Ernest Ludwig Planck [1858-1947], em vez de adequar os resultados às teorias existentes, propôs, em 1900, um modelo matemático que se ajustou aos resultados experimentais, introduzindo algo novo: o fato de a radiação ser absorvida e emitida por meio de pequenos “**pacotes**” de energia, e não continuamente, como previa a Física Clássica. A esses **pacotes de energia** foi dado o nome de quanta (plural de quantum, que corresponde à menor quantidade de energia contida nos **pacotes de energia**) (SANTOS, MÓL, 2016, p. 245, grifo da autora).

O uso das aspas foi adotado apenas em quatro livros (L1, L6, L7 e L9). Tal característica evidencia que apenas a metade dos autores indica que o termo não pode ser considerado uma definição literal, logo, se essa preocupação em apontar a não literalidade da informação não é evidente para profissionais responsáveis pela

transposição, não há como afirmar que será para aqueles que farão uso do material didático. A associação da palavra concreta “pacote” ao termo “discreto”, sem uma discussão adequada, pode, além de dificultar o processo cognitivo, estabelecer um conceito inadequado, que impede um processo de aprendizagem efetivo e caracteriza um **obstáculo epistemológico verbal** (BACHELARD, 1996). Além de caracterizar um termo simplista e pouco aprofundado, a palavra “pacote” não é surge em nenhum dos trabalhos pioneiros da Mecânica Quântica.

O uso da representação por imagem é algo que devemos salientarmos. A figura adotada por Reis (2016, p.155) com o propósito de ilustrar os *quanta* de energia (Figura 3) foi empregada de maneira apropriada, explicando que é apenas um modelo e que o mesmo além de fora da escala, não existe no mundo físico real e possui cores fantasia. Entretanto, mesmo que bem detalhado, a falta de uma explicação sobre o motivo da cor não ser fidedigna pode ocasionar em uma correlação da cor da luz a cor dos *quanta* pelo estudante, que pode por exemplo, presumir que a luz azul possui *quanta* azul, o que configura um **obstáculo substancialista**.

Figura 03: Representação dos quanta de energia através de um feixe luz ampliado.

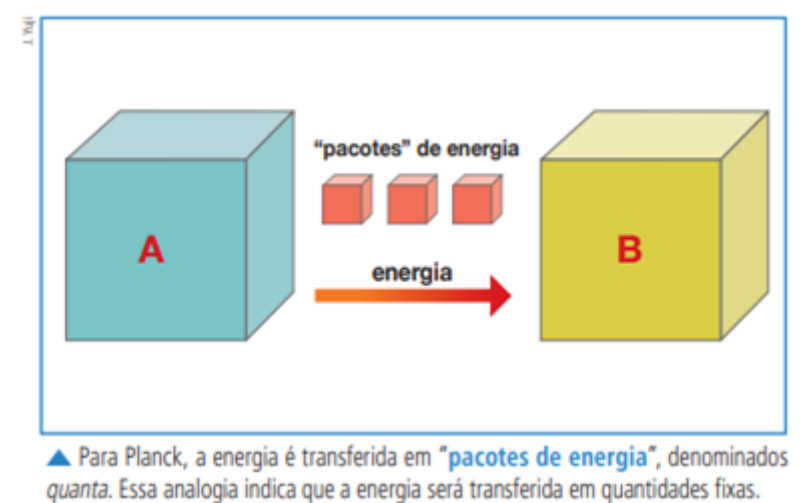


Fonte: (REIS, 2016, p. 155)

Outro livro que para explicar a quantização de energia fez uso de imagem foi Santos e Mól (2016, p. 246) figura (04). Os autores exibiram uma abordagem que diverge da de Reis (2016, p.155) figura (03). Nela, além de não haver explicação sobre as cores não retratarem a realidade, ainda faz uso de cubos para representar a transferência de energia através de “pacotes”, que em conjunto com as cores, causa uma interpretação profundamente equivocada, uma vez que além de associar os *quanta* a um objeto ou forma geométrica, idealizar que possuem cor e que essas cores transmitem através do fenômeno de transferência. Essas atribuições limitam o fenômeno a uma propriedade substancial e desprezam todo o conhecimento científico

que o originou, sendo definido por BACHELARD (1996), através do **obstáculo epistemológico substancialista**.

Figura 04: Analogia para *quanta*



Fonte: (SANTOS, MÓL, 2016, p. 246).

Dessa forma, para o conceito de quantização de energia, foi possível observar obstáculos substancialista e verbal.

5.2 FÓTON

O conceito de Fóton é discutido em duas (L1, L6) das seis coleções aprovadas pelo PNLD 2018. No PNLD 2021, apesar de aparecer em todas as coleções analisadas, duas delas (L8, L9) não discutem o termo.

Assim como na abordagem da **Quantização da Energia**, o conceito de fótons foi marcado pela característica do **obstáculo verbal** (BACHELARD, 1996) em seis livros, **L1, L6, L7, L10, L12 e L13**, ao ser associado a pacotes:

Para Einstein, a luz e as demais ondas eletromagnéticas devem ser consideradas como um feixe de partículas, denominadas **fótons**. Cada fóton é um pacote de energia, ou um quantum de energia, relacionado à frequência de radiação, conforme prevê a equação de Planck ($E = h \cdot \nu$) (SANTOS, MÓL, 2016, p. 246, grifo da autora).

Ao dizer que o elétron precisa de certa quantidade de energia para se desprender da placa metálica, o **L13** atribui vida a um fenômeno inanimado, denominado por Bachelard (1996) como **obstáculo animista**, visto que "desprender" é definido como "libertar-se ou soltar" (DESPRENDER, 2022) e "precisar" é "ter

necessidade (de); ou carecer/necessitar” (PRECISAR, 2022), característica de seres humanos.

Para se desprender da placa metálica, o elétron precisa de certa quantidade de energia, fornecida pelo fóton. A energia do fóton, porém, depende da frequência da luz incidente, e não de sua intensidade (como era previsto pelas teorias clássicas) (FUKUI et al.2020, p. 42).

O termo fóton, além de carecer de informações adequadas, foi definido no **L7** como explicação do efeito fotoelétrico por Albert Einstein e assimilado ao trabalho de Max Planck de forma inadequada, visto que Einstein sequer baseou-se no postulado de Planck e a palavra fóton só foi atribuída em 1926 por Lewis, ademais, o trabalho publicado por ele em 1905 não teve como objetivo explicar o efeito fotoelétrico e sim a interação entre energia e matéria, cuja sugestão por ele proposta explicava diversos fenômenos.

Com o objetivo de explicar esse fenômeno, o físico alemão Albert Einstein (1879-1955) publicou um artigo intitulado “Um ponto de vista heurístico sobre a produção e transformação da luz”, em 1905. Por esse trabalho e por suas contribuições à Física teórica, ele recebeu o Prêmio Nobel de Física, em 1921. No artigo, Einstein propôs um novo modelo para a luz com base nas conclusões do trabalho de Planck, que também havia recebido o Nobel de Física três anos antes (LOPES; ROSSO, 2020, p. 49).

A maneira como os autores associam o fóton com a quantização, ou o termo *quantum*, pode vir a causar um mal entendimento, ou até mesmo uma percepção ambígua sobre os dois, visto que o fóton está relacionado à energia de uma onda eletromagnética e o *quantum* à sua quantidade.

Dessa forma, para o conceito de fóton, foi possível observar o obstáculo verbal e animista.

5.3 TRANSIÇÃO ELETRÔNICA

A análise do PNLD 2018 fez uso do conceito em cinco (L1, L2, L3, L5, L6) das seis coleções. Para o PNLD 2021 o conceito foi identificado em seis (L7, L9, L10, L11, L12, L13) das sete coleções.

Os autores dos livros **L1**, **L3**, **L6**, **L7** e **L12** associam a transição eletrônica ao termo “saltar”, presente com e sem aspas, isto é, atribuem uma característica animalesca a uma entidade não viva, portanto recorrem ao **animismo** para explicar o

fenômeno. Conforme já foi dito, o obstáculo epistemológico do tipo animismo está relacionado ao fato de atribuirmos fenômenos materiais e/ou inanimados por meio de metáforas e analogias biológicas (BACHELARD, 1996).

Não apenas as palavras são visíveis aqui, mas seu uso indevido também pode criar inconsistências na formação científica dos alunos. Para que um elétron efetivamente realize um “salto”, ele deve transitar por todos os caminhos, todavia, ao idealizarmos uma situação em que ele se encontre em um lóbulo do orbital d transite para outro lóbulo do mesmo orbital, seria indispensável percorrer por regiões onde a probabilidade é nula, logo, inviável. Como argumenta Lopes (1993), não se trata apenas de conceitos, mas de um senso comum que muitas vezes se distancia dos vieses históricos formados pela ciência. Além disso, em 1952 Schrödinger expõe publicamente a sua insatisfação acerca do uso do termo “salto”, que é indevidamente associado à mudança de estado quântico de uma partícula (SCHRÖDINGER, 1952).

Para Bachelard (1996), o conceito de vida brilha mais forte: "A vida é uma palavra mágica. É uma palavra valiosa. Quando um princípio importante pode ser invocado, qualquer outro princípio desaparece" (BACHELARD, 1996).

Quando os autores vão transpor o conceito de variações discretas de energia, Mortimer e Machado (2016, p. 165) usam uma escada: “Ao subirmos ou descermos uma escada, só poderemos parar nos degraus; não há como ficar entre dois degraus.” (MORTIMER; MACHADO, 2016, p.165). Essa analogia também é encontrada de maneira semelhante em **L10**, que possui a presença em comum de um dos autores.

A mesma ideia é também utilizada no mesmo livro para explicar a variação discreta de energia, conceito que também foi explicado em L13:

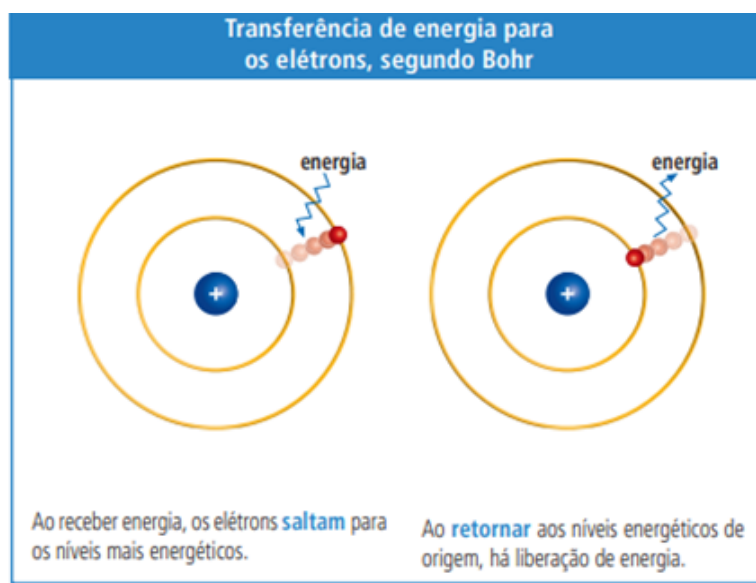
Na rampa, todas as alturas em relação ao solo são possíveis. Dizemos então que a altura varia continuamente na rampa. No caso da escada, apenas as alturas dos degraus são possíveis. Portanto, para a escada, a altura varia de modo discreto. Se, em vez de alturas, as figuras representassem a energia no eixo vertical, no caso da rampa teríamos todos os valores possíveis de energia (variação contínua) e no caso da escada apenas alguns valores (variação discreta). Chamamos de quantum o salto da variação discreta de energia, ou seja, é o menor valor de variação da grandeza energia (MORTIMER et al. 2020, p. 93).

Para melhor explicitar o conceito, alguns livros fizeram uso de recursos imagéticos. Em **L1**, **L6** e **L12**, as figuras utilizadas não apresentam qualquer informação acerca das cores ou sobre escala e representação no mundo físico e se caracterizam como um **obstáculo substancialista** (BACHELARD, 1996). Essas

substancializações podem dificultar o progresso futuro do pensamento científico dos alunos porque permitem interpretações determinísticas. A mente científica não se contenta apenas em relacionar fenômenos à matéria, mas também deve estabelecer relações precisas e detalhadas com outros objetos (BACHELARD, 1996).

A figura (05) representa as imagens utilizadas em L3, L6 e L12. A ilustração sugere que de fato o elétron percorre todo o caminho, caracterizando o salto/caminhar e não uma transição eletrônica.

Figura 05: Transferência de Energia para os elétrons, segundo Bohr



Fonte: (SANTOS, MÓL, 2016, p. 175).

A fim de explicar a energia adquirida, oito livros (L1, L3, L6, L7, L9, L11, L12 e L13) fazem uso da palavra “absorver”, assim como o trecho retirado de L3:

Para passar de um nível de menor energia para um de maior, o elétron absorve uma quantidade apropriada de energia. Ao fazer o caminho inverso (do nível de maior para o de menor energia), ele libera energia. A quantidade que é absorvida ou liberada por um elétron corresponde exatamente à diferença entre um nível de energia e outro (LISBOA et al. 2016, p.90).

Seu uso é responsável pelo **obstáculo verbal**, visto que o fóton é uma entidade elementar, portanto não é capaz de absorver energia, uma vez que não possui estrutura interna. Além disso, dizer que o elétron absorve a energia inviabiliza o efeito fotoelétrico, já que ela se tornaria indisponível para o movimento e causaria um aumento de sua massa, visto que: “O elétron não tem graus de liberdade internos. O elétron só pode ter energia transferida a ele, aumentando sua energia cinética (ou então sua energia potencial EXTERNA). O elétron não pode ABSORVER energia (DORE, 2004, p. 1)

Portanto, uma alternativa ao uso da palavra absorver é dizer que a energia é **transferida**.

Dessa forma, para o conceito de transição eletrônica foi possível observar obstáculos verbais, animistas e substancialistas.

5.4 ORBITAL

A definição de orbital atômico é discutida em cinco coleções do PNLD 2018 (L1, L2, L3, L5 e L6). Já no PNLD 2021, a definição, apesar de também aparecer em cinco coleções, só é discutida em quatro (L9, L10, L11 e L13).

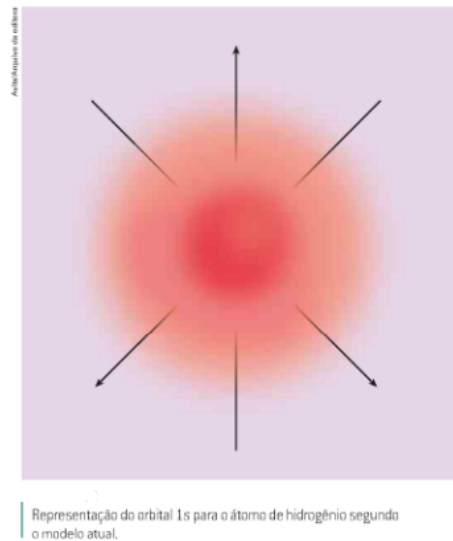
O conceito é interpretado nos livros **L2, L6, L7, L9, L10, L11 e L13** como uma região onde existe uma alta probabilidade de se encontrar um elétron, característica de uma perspectiva **realista e generalizada** (BACHELARD, 1996).

Devido à incerteza e ao comportamento ondulatório do elétron, o modelo mecânico-quântico descreve **orbitais**, funções matemáticas que descrevem a probabilidade de encontrar um elétron com determinada energia a certa distância do núcleo. (AMABIS et al. 2020, p. 58, grifo da autora).

Além disso, as imagens presentes nos livros **L2, L6, L10 e L13**, representadas pela figura (06), além de **substancialistas** (BACHELARD, 1996), visto que carecerem de informações acerca de suas cores, escalas e representação no mundo físico, também partilham de uma concepção **realista**, cuja ideia de se conhecer um objeto está relacionada com a capacidade de descrevê-lo. Propriedades vistas como intrínsecas a um sujeito são consideradas reais pelo realismo e acabam sendo generalizadas de maneira apressada, onde a matemática, que é essencial para compreensão do fenômeno, é obscurecida pela falta de conhecimento.

Outro problema enfrentado pelo uso dessas representações imagéticas é o fato de que podem ser interpretadas como uma caixa fechada no formato do orbital pelos alunos, onde os mesmos não conseguem compreender a probabilidade de o elétron estar em tal região e muito menos imaginar que a região existe independente da presença do elétron.

Figura 06: Representação do Orbital 1s para o átomo de hidrogênio



Fonte: (MORTIMER; MACHADO, 2016, p. 176)

Dessa forma, para o conceito de Orbital, foi possível observar obstáculos realistas, substancialistas e ao conhecimento geral.

5.5 NÚMEROS QUÂNTICOS

Os números quânticos aparecem em apenas quatro das treze coleções analisadas, sendo duas referentes ao PNLD 2018 (L2 e L6) e duas do PNLD 2021 (L10 e L13).

Ao todo, temos 3 números quânticos respectivamente chamados de número quântico principal (**n**), secundário (**l**) e magnético (**m_l**) representam respectivamente o “tamanho” do orbital atômico, visto que é diretamente proporcional à distância do núcleo atômico. A “forma” e orientação dos orbitais no espaço, foram discutidos apenas em L2 e L10.

Um quarto número quântico, chamado de número quântico magnético de *spin* (**m_s**) foi localizado em quatro coleções (L2, L6, L10 e L13). É o único que não possui paralelo clássico, entretanto, uma forma interessante de abordá-lo é fazendo com que os alunos entendam suas consequências no dia a dia, podendo por exemplo ser discutido através de ímãs permanentes, existentes em diversos aparelhos eletrônicos.

Todavia, números quânticos são apenas aqueles que tornam a função de onda Ψ , uma autofunção contínua, unívoca e de quadrado integrável, que, quando operada

pela hamiltoniana, fornece um autovalor de energia conhecido para o elétron no átomo.

5.5.1 NÚMERO QUÂNTICO PRINCIPAL

Em **L2** e **L10**, o primeiro número quântico principal é associado ao nível de energia do elétron:

“O número quântico principal é relacionado ao nível de energia do elétron, indicado pela letra n e podendo assumir valores inteiros 1,2,3..., assim como no modelo de Bohr.” (MORTIMER; MACHADO, 2016, p. 178).

“O primeiro deles, n , é o **número quântico principal**. A exemplo do número quântico do modelo de Böhr, ele está relacionado ao nível de energia do elétron e assume valores de número inteiros: $n = 1, 2, 3, \dots$.” (MORTIMER et al. 2020, p. 118-119, grifo da autora).

Essa abordagem memorística não apresenta quaisquer contribuições para o processo de aprendizagem, visto que a explicação não representa nenhum fenômeno encontrado na natureza, além de ser responsável por diversos obstáculos à formação do conhecimento do aluno, como a inibição de um processo reflexivo e limitação a explicações gerais ou generalizações causadas pela **primeira experiência** (BACHELARD, 1996).

5.5.2. NÚMERO QUÂNTICO SECUNDÁRIO

O segundo número quântico é abordado pelos livros **L2** e **L10** e ligado a forma do orbital e aos subníveis de energia dentro de um mesmo nível:

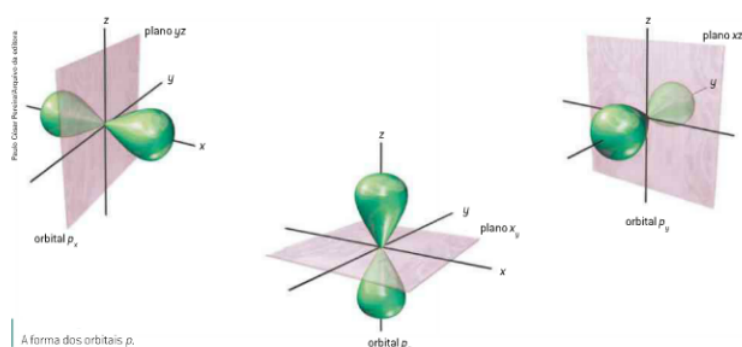
O segundo número quântico, chamado de número quântico do *momentum* angular orbital, é relacionado aos subníveis de energia dentro de um mesmo nível e associado a forma do orbital. Indicado pela letra l , assume valores de zero a $n-1$, onde n é o número quântico principal. Os autores indicam a forma aproximada do orbital s como esférica e o p como duas bexigas ligadas. Os orbitais d e f não são associados a algo pois são mais complicados de serem descritos (MORTIMER; MACHADO, 2016, p. 178).

O segundo número quântico, representado pela letra L , é um número inteiro que está associado ao momentum angular orbital do elétron, por isso é chamado de **número quântico orbital**. Ele corresponde aos subníveis de energia dentro de um mesmo nível n e pode ser associado à forma da função de onda associada ao orbital. De acordo com os resultados da equação de Schrödinger, o número quântico L pode assumir valores que vão de zero a $(n-1)$. Associamos aos valores de $L = 0, 1, 2, 3$, respectivamente, as letras s, p, d, f . A partir da equação de Schrödinger, é possível mostrar que os orbitais s ($L = 0$) apresentam formato esférico. Já os orbitais p ($L = 1$) têm o formato aproximado de dois balões (bexigas) ligados, ao longo das direções x, y e z (figura 08) (MORTIMER et al. 2020, p. 118-119, grifo da autora).

O uso do paralelo clássico como forma de explicação foi uma boa estratégia didática, entretanto, é necessário cautela na abordagem, visto que através do avanço tecnológico da microscopia eletrônica a representação dos orbitais como “sólidos de revolução” não é mais sustentada, portanto, a associação do formato a “bexigas” torna a química mais abstrata e dificulta sua aceitação como uma região do espaço sujeita à força nuclear atrativa e representa um **obstáculo verbal** (BACHELARD, 1996).

Para facilitar a assimilação do formato, os autores utilizam recursos imagéticos (Figura 7 e 8):

Figura 07: Representação do Orbital p



Fonte: (MORTIMER; MACHADO, 2016, p. 178)

Figura 08: Formato dos Orbitais p

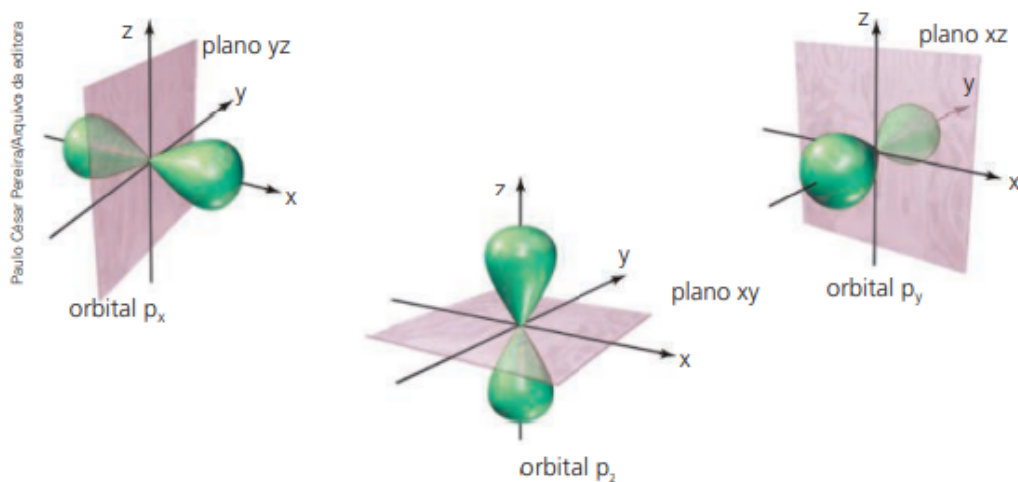


Figura 7.10 – O formato dos orbitais p. Os elementos não estão representados em I proporção. Cores fantasia.

Fonte: (MORTIMER et al. 2020, p. 119)

As imagens utilizadas em L2 e L10 são as mesmas, possivelmente porque possuem dois autores em comum. Ao compará-las, fica evidente a preocupação acerca do uso das cores e escalas, visto que apesar de compartilharem o mesmo desenho, o L10 atribui um aviso sobre a não equivalência com o real, entretanto, assim

como nas demais imagens que dotam da mesma explicação, o motivo dessa sinalização ainda não é exposto aos alunos, sendo capaz de gerar uma associação motivada pela **substancialização** (BACHELARD, 1996).

5.5.3. NÚMERO QUÂNTICO MAGNÉTICO

O terceiro número quântico, assim como o principal e o secundário, também é discutido apenas em **L2** e **L10**. Ambos o caracterizam como o orbital individual em que o elétron se encontra dentro de um certo subnível de energia:

O número quântico magnético ou terceiro número quântico, é indicado pela letra m , podendo variar de $-l$ a $+l$, passando pelo valor zero, em que l é o valor do número quântico orbital. Tal número indica o orbital individual em que um elétron se encontra dentro de um determinado subnível de energia (MORTIMER; MACHADO, 2016, p. 178).

O terceiro número quântico, designado por m , está associado à coordenada z do momento angular orbital. Devido à sua relação com as propriedades magnéticas do elétron, também é chamado de **número quântico magnético**. Ele indica o orbital individual em que um elétron se encontra dentro de certo subnível de energia. (MORTIMER et al. 2020, p. 118-119, grifo da autora).

Mais uma vez o conceito é abordado através de uma mera exposição e de maneira desconexa, resultando em um **obstáculo de experiência primeira** (BACHELARD, 1996).

5.5.4. NÚMERO QUÂNTICO MAGNÉTICO DE SPIN

A concepção de Spin, quarto e último número quântico aparece, em **L2**, **L6**, **L10** e **L13** através da ideia de partícula:

O quarto e último número quântico é denominado número quântico magnético de *spin*, e pode assumir dois valores $-1/2$ e $+1/2$, sendo que dois elétrons em um mesmo subnível e orbital obrigatoriamente possuem *spins* opostos, relacionado ao princípio da exclusão de Pauli, que estabelece que dois elétrons em um mesmo átomo não podem ter os quatro números quânticos iguais. Uma das consequências desse princípio é que cada orbital comporta no máximo dois elétrons, sendo um com spin $-1/2$ e outro $+1/2$ (MORTIMER; MACHADO, 2016, p. 178).

Entretanto, apenas em **L10** e **L13** os autores explicaram que essa ideia não se aplica a concepção de um átomo pela Mecânica Quântica, entretanto, a afirmação presente em **L10** é incorreta, visto que Pauli não interpretou o experimento de Otto Stern e Walter Gerlach, uma vez que o mesmo apresenta suas próprias conclusões.

Em 1925, o físico austríaco Wolfgang Pauli interpretou os resultados desse experimento postulando a existência de outra propriedade dos elétrons, chamada de spin (em inglês, que significa "rotação" ou "giro"). Ele

demonstrou que os elétrons podiam ter um spin para cima (up) ou para baixo (down) e que essa propriedade estava relacionada à orientação da partícula em relação a um campo magnético (MORTIMER et al. 2020, p. 118).

Dessa forma, para o conceito de Números Quânticos, foi possível observar obstáculos Verbais, Substancialistas e Experiência Primeira.

5.6. QUÂNTICA

Por fim, a própria palavra quântica é a menos discutida entre o PNLD 2018 e 2021, sendo inexistente no de 2018 e presente em apenas uma das sete coleções referentes ao de 2021, a L7.

Em **L7**, a definição é sucinta: “Os “pacotes” de energia descritos por Max Planck foram chamados de *quantum* (no plural, *quanta*), que vem do latim e significa **quantidade**, originando o termo Física Quântica” (LOPES; ROSSO, 2020, p. 47, grifo da autora).

A falta de explicações acerca da própria palavra deixa o tema em aberto e mais uma vez favorece a memorização de todos os outros conteúdos derivados da Mecânica Quântica como consequência de uma primeira experiência, além da reincidência do termo “pacotes”, o que caracteriza um obstáculo verbal (BACHELARD, 1996).

Dessa forma, para a própria palavra Quântica, foi possível observar o Obstáculo Verbal.

5.7. PNLD 2018 *VERSUS* PNLD 2021

Ao analisarmos a coleção de modo geral, para o PNLD 2018 temos seis coleções e seis conceitos, totalizando um total de 36 possíveis definições conceituais simultâneas e 19 aparições (53%). Já o PNLD 2021 apresenta sete coleções para os mesmo seis conceitos, totalizando 42 possíveis aparições simultâneas e 28 abordagens (67%).

Tendo em vista que foram identificados seis obstáculos epistemológicos durante toda a análise e que todos eles podem ser identificados simultaneamente perante os seis conceitos, temos 36 possíveis identificações de obstáculos à formação do conhecimento em cada PNLD analisado.

Logo, através da relação presente no quadro 08, podemos observar que foram identificados 12 no PNLD 2018 e 13 no PNLD 2021.

Quadro 08: Resumo dos Obstáculos epistemológicos presentes no PNLD 2018 e 2021

Obstáculos Epistemológicos															
	Conceitos	Experiência primeira	Conhecimento Geral	Verbal	Substancialista	Realista	Animista		Experiência primeira	Conhecimento Geral	Verbal	Substancialista	Realista	Animista	
PNLD 2018	Quantização da Energia	-	-	X	X	-	-	PNLD 2021	-	-	X	-	-	-	
	Fóton	-	-	X	-	-	-		-	-	X	-	-	-	X
	Transição Eletrônica	-	-	X	X	-	X		-	-	-	X	X	-	X
	Orbital	-	X	-	X	X	-		-	-	X	-	X	X	-
	Números Quânticos	X	-	X	X	-	-		-	X	-	X	X	-	-
	Quântica	-	-	-	-	-	-		-	-	-	X	-	-	-

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A pesquisa realizada através da análise e comparação dos obstáculos epistemológicos presentes na abordagem dos conceitos de Química Quântica nos livros de química aprovados pelo PNLD 2018 e 2021 mostrou que nenhuma coleção se absteve de obstáculos durante a abordagem.

Dentre os 10 obstáculos epistemológicos apresentados por Gaston Bachelard (1996), foram encontrados 6:

- I. Experiência Primeira
- II. Conhecimento Geral
- III. Verbal
- IV. Substancialista
- V. Realista
- VI. Animista

A pesquisa além de indicar que não houve melhora entre o PNLD 2018 e 2021 mostrou que os autores apresentam uma grande dificuldade de transpor adequadamente o conteúdo referente a Teoria Quântica, que acaba por propiciar um estudo baseado única e exclusivamente na memorização de conceitos.

A primeira experiência, ou mais precisamente a primeira observação, é definida como colorida, pitoresca e cheia de imagens que chamam a atenção. Como resultado, os professores estão cada vez mais focados em entreter e agradar os alunos para promover a compreensão do que está sendo ensinado. No entanto, esta atitude acaba por criar uma distância, uma ruptura entre a observação e a experiência.

O conhecimento generalizado é quase fatalmente vago, e quanto mais curto for o processo de identificação e formulação teórica, mais fraco será o processo experimental.

O obstáculo verbal, marcado pela tendência de associar uma palavra abstrata a uma palavra concreta, pode fazer com que os alunos criem analogias incorretas e que impossibilitam a indispensável abstração do conteúdo.

A substancialização presente no uso de imagens desconsidera a formação do espírito científico, visto que toda a pesquisa científica para elaboração de leis e teorias que acarretaram aquele fenômeno é desconsiderada e o fenômeno passa a ser visto apenas através de uma propriedade substantiva, impedindo toda e qualquer pergunta que poderia ser desenvolvida através de um pensamento científico crítico.

Além disso, o obstáculo realista marca a busca por tornar as noções dos conceitos palatáveis aos alunos, empobreceu a riqueza dos conceitos e configurou o obstáculo realista, visto que tal abordagem pode não só dificultar a aprendizagem do assunto em questão como pode desencadear problemas na aprendizagem de outros conceitos.

Por último, o obstáculo animista e sua característica de deslumbrar um conceito, dando vida a ele, acaba por banalizá-lo e causar dissociações ao conteúdo estudado, uma vez que essa realidade não condiz com o saber científico e causam uma segregação entre realidade e teoria.

Portanto, conclui-se que é indispensável a melhora na abordagem dos conceitos de Química Quântica nos livros didáticos como forma de evitar qualquer brecha ou má interpretação que possa permitir que os alunos acreditem em seja qual for a ideia difundida que não possui qualquer tipo denexo promovida atualmente sob o nome da Mecânica Quântica.

REFERÊNCIAS

- AMABIS, José M. et al. Moderna Plus: Ciências da natureza e suas tecnologias - manual do professor. -- 1. ed. – São Paulo: Moderna, 2020.
- ASTOLFI, Jean Pierre et al. **Mots-clés de la didactique des sciences**. Pratiques Pédagogies, De Boeck & Larcier S. A. Bruxelas, 1997.
- ATKINS, Peter; PAULA, Julio De. **Físico-Química**. 8. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2008. p. 1-589.
- Bardin, L.(2011). *Análise de conteúdo*. São Paulo: Edições 70.
- Básica, 2018. BRASIL. Lei de Diretrizes e Bases da Educação Nacional, LDB. 9394/1996
- BRASIL. Base Nacional Comum Curricular: Ensino Médio. Brasília: MEC/Secretaria de Educação
- BRITO MENEZES, A. P. de A.. **Contrato didático e transposição didática**: inter-relações entre os fenômenos didáticos na iniciação à Álgebra na 6ª série do ensino fundamental. Recife, 2006. Tese (Doutorado em Educação). UFPE, 2006.
- BOHM, David. Proof That Probability Density Approaches $|\psi|^2$ in Causal Interpretation of the Quantum Theory. **Physical Review**, [s. l], v. 89, n. 2, p. 458-466, 15 jan. 1953.
- CASTRO, Thiago Sampaio. **Números Quânticos: abordagens desconexas que favorecem a memorização**. Monografia (Licenciatura em Química) – Instituto de Química, Universidade de Brasília, p. 44. 2015.
- CISCATO, Carlos Alberto Mattoso et al. Química, v. 2, 1. ed. São Paulo: Moderna, 2016.
- CORRÊA, Carlos. Modelo atômico de Bohr. **Revista de Ciência Elementar**, Universidade do Porto, v. 2, n. 2, p. 1-3, dez./2010. Disponível em: <https://rce.casadasciencias.org/rceapp/pdf/2014/050/>. Acesso em: 1 out. 2021.
- DESPRENDER. In: DICIO, Dicionário Online de Português. Disponível em: <<https://www.dicio.com.br/desprender/>>. Acesso em: 25/10/2022.
- DIONÍSIO, P.H. **ALBERT EINSTEIN E A FÍSICA QUÂNTICA**. Cad. Bras. Ens. Fís., v. 22, n. 2: p. 147-164, ago. 2005
- DORE, Stenio. EFEITO FOTOELÉTRICO: **PODE O ELÉTRON ABSORVER UM FÓTON?**. Fis.Rad.I - 2004/1 Notas de aula , Rio de Janeiro, mar./2004. Disponível em: <https://www.if.ufrj.br/~dore/FisRad/fotoelet.pdf>. Acesso em: 25 out. 2022.

FILGUEIRAS, CARLOS A. L.. **Gilbert Lewis e o centenário da Teoria da Ligação por Par de Elétrons. Química Nova**, v. 39, p. 1262-1268, 2016.

FREIRE JR, O., PESSOA JR, O., and BROMBERG, JL., orgs. Teoria Quântica: estudos históricos e implicações culturais [online]. Campina Grande: EDUEPB; São Paulo: Livraria da Física, 2011. 456 p. ISBN 978-85-7879-060-8. Available from SciELO Books .

FUKUI, Ana et al. Ser Protagonista: Ciências da natureza e suas tecnologias: Ensino Médio 1ºed.- São Paulo: Edições SM, 2020.

GIANI, Kellen. **A experimentação no Ensino de Ciências: possibilidades e limites na busca de uma Aprendizagem Significativa**. Dissertação (mestrado) – Instituto de Ciências Biológicas, Universidade de Brasília, p. 190. 2010.

GODOY, Leandro P. de. AGNOLO, Rosana M. D. MELO, Wolney C. Multiversos: Ciências da natureza: matéria, energia e a vida: Ensino Médio – 1. ed. – São Paulo: Editora FTD, 2020

HENRY, John. **A Revolução Científica**: e as origens da ciência moderna. 1. ed. Rio de Janeiro: Jorge Zahar, 1998. p. 1-149.

HOMRICH, Alana M.; RUPPENTHAL, Nicolle; MARQUES, Carlos A.. Alimentação e o Ensino de Química: Análise de Livros Didáticos Aprovados pelo PNLD 2018. **Química nova na escola**, São Paulo, v. 41, n. 1, p. 108-116, fev./2019. Disponível em: http://qnesc.sbq.org.br/online/qnesc41_1/13-CP-50-18_ENEQ.pdf. Acesso em: 1 nov. 2021.

KUHN, Thomas S.. **A Estrutura das Revoluções Científicas**. 13. ed. São Paulo: perspectiva, 2018. p. 1-323.

LIMA, Marcio Matos; SILVA, J. L. D. P. B. Orbital atômico: modos de conceituar e ensino . **SCIENTIA NATURALIS** , Rio Branco, v. 1, n. 3, p. 10-23, mai./2019.

LISBOA, Júlio Cezar Foschini et al. Química, v. 2,3. ed. São Paulo: SM, 2016. (Coleção Ser Protagonista).

LOPES, A. R, C. **Livros didáticos: obstáculos ao aprendizado da ciência química**. Dissertação (mestrado) – Instituto de Estudos Avançados em Educação, Fundação Getúlio Vargas, p. 289. 1990.

LOPES, A. R. C. Livros Didáticos: Obstáculos Verbais e Substancialistas* ao Aprendizado da Ciência Química. **R. bras. Est. pedag.**, Brasília, v. 74, n. 277, p. 309-334, mai./1993.

LOPES, R. O. ; LÜDKE, Everton . **As imagens e o ensino de modelos atômicos**. In: XVIII Encontro Nacional de Ensino de Química, 2016, Florianópolis. XVIII Encontro Nacional de Ensino de Química 2016, 2016.

LOPES, Sônia, ROSSO, Sergio. Ciências da natureza: Lopes & Rosso: manual do professor; editora responsável Maíra Rosa Carnevalle. -- 1. ed. – São Paulo: Moderna, 2020.

MACHADO, Andréa Horta; MORTIMER, Eduardo Fleury. Química, v. 2, 3. ed.São Paulo: Scipione, 2016.

MANTOVANI, Sérgio Roberto. **Sequência didática como instrumento para a aprendizagem significativa do efeito fotoelétrico**. Dissertação (mestrado) – Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Estadual Paulista, p. 43. 2015.

MARTINS, L. A.-C. P.; GOLDFARB, J. L.; ALFONSOGOLDFARB, A. M.; CARDOSO, W. T.;PORTO, P. A.. Modelos atômicos no início do século XX: da física clássica à introdução da teoria quântica. 2009. Tese (Doutorado em História da Ciência) - Pontifícia Universidade Católica de São Paulo.

MORTIMER, Eduardo. et al. Matéria, energia e vida: uma abordagem interdisciplinar: Desafios contemporâneos das juventudes. — 1. ed. – São Paulo: Scipione, 2020.

NEVES, L. S. D; FARIAS, R. F. D. **História da química**: um livro-texto para a graduação. 1. ed. Campinas, SP: Átomo, 2008. p. 1-134.

NOVAIS, Vera Lúcia Duarte de; TISSONI, Murilo. Química, v. 2, 1. ed.Curitiba: Positivo, 2016. (Coleção Vivá).

NUSSENZVEIG, H. Moysés. **Física básica 4** : Ótica , relatividade, física quântica . 1. ed. São Paulo: BLUCHER, 1998. p. 1-437.

POLKINGHORNE, John. Teoria Quântica : Uma Breve Introdução. 1. ed. São Paulo: L&PM POCKET, 2016. p. 1-135.

PRECISAR. *In*: DICIO, Dicionário Online de Português. Disponível em: <<https://www.dicio.com.br/precisar/>>. Acesso em: 25/10/2022.

PSEUDOCIÊNCIA. *In*: DICIO, Dicionário Online de Português. Disponível em: <<https://www.dicio.com.br/pseudociencia/>>. Acesso em: 25/10/2022.

REALE, Giovanni; ANTISERI, Dario. **História da Filosofia** : Filosofia pagã antiga, v. 1. 3. ed. São Paulo: PAULUS, 2007. p. 1-385.

REIS, Martha. Química, v. 2, 2. ed. São Paulo: Ática, 2016.

ROCHA, C. J. T. da; FARIAS, S. A. de. A importância do livro didático na integralização e aulas de Química em escola pública. **EDUCA - Revista Multidisciplinar em Educação**, [S. l.], v. 7, n. 17, p. 1547–1560, 2020. DOI: 10.26568/2359-2087.2020.4947. Disponível em:

<https://periodicos.unir.br/index.php/EDUCA/article/view/4947>. Acesso em: 25 out. 2022.

ROSA, Pedro Sérgio. Louis de Broglie e as ondas de matéria. Dissertação (mestrado) – Instituto de Física “Gleb Wataghin”, Universidade Estadual de Campinas, p. 190. 2004.

SANTOS, Kelly C. dos. Diálogo: Ciências da natureza e suas tecnologias: manual do professor; obra coletiva concebida, desenvolvida e produzida pela Editora Moderna – 1. ed. -- São Paulo: Moderna, 2020.

SANTOS, Wildson Luiz Pereira dos et al. Química Cidadã, v. 2, 3. ed. São Paulo: AJS, 2016.

SCHRÖDINGER, Erwin. Are There Quantum Jumps? Part I. **The British Journal For The Philosophy Of Science**, [s. l.], v. 3, n. 10, p. 109-123, ago. 1952.

SCHRÖDINGER, Erwin. Are There Quantum Jumps? Part II. **The British Journal For The Philosophy Of Science**, [s. l.], v. 3, n. 11, p. 233-242, nov. 1952.

SILVA, A. J. R. D. Mecânica quântica: ciência básica e geração de riqueza. **REVISTA USP**, São Paulo, v. 1, n. 76, p. 88-95, dez./2007.

SIQUEIRA, M.; PIETROCOLA, M. A Transposição Didática aplicada a teoria contemporânea: A Física de Partículas elementares no Ensino Médio. In: X Encontro de Pesquisa em Ensino de Física – EPEF, 2006, Londrina. Anais. v. 1. p. 1-1.

Disponível em: http://www.hu.usp.br/wp-content/uploads/sites/293/2016/05/Maxwell_A_TRANSPOSICAO_DIDATICA_APLICADA.pdf

SOARES, J. M. S. **Análise da história do Efeito Fotoelétrico em livros didáticos de Física para graduação**. 2016. 86f. Dissertação (Programa de Pós-Graduação em Ensino de Ciências e Educação Matemática - PPGECEM)- Universidade Estadual da Paraíba, Campina Grande, 2016.

STADLER, J. P.; JÚNIOR, F. S. S.; HUSSEIN, M. J. F. G. E. F. R. G. S. ANÁLISE DE OBSTÁCULOS EPISTEMOLÓGICOS EM LIVROS DIDÁTICOS DE QUÍMICA DO

ENSINO MÉDIO DO PNLD 2012. **HOLOS**, Rio Grande do Norte, v. 2, n. 1, p. 234-243, mai./2012.

THOMPSON, Miguel. Conexões: Ciências da natureza e suas tecnologias: manual do professor ...[et al.]. -- 1. ed. -- São Paulo: Moderna, 2020.

TIEMI SAITO, M. O Fenômeno Cultural do Misticismo Quântico: possibilidades e perspectivas de investigação. **Revista Brasileira de Ensino de Ciências e Matemática**, v. 4, n. 3, 1 set. 2021.

VARGAS, Milton. História da matematização da natureza. **Estudos Avançados**, São Paulo, v. 10, n. 28, p. 249-276, mar./1996. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/ea/a/KvXj97vJmNhCvPTSV6TVMLh/?lang=pt&format=pdf>.

Acesso em: 1 nov. 2021.

VILAS BÔAS, C. S. do N. **EPISTEMOLOGIA DE BACHELARD E A APRENDIZAGEM DO CONCEITO DE RESSONÂNCIA**. Revista do Professor de Física, [S. l.], v. 2, n. 2, 2018.

VILLAS-BÔAS, Celso Jorge. **A Transformação da Informação Quântica em Valor de Mercado**. São Carlos, SP. 25 mai. 2022. Apresentação de Power Point. 37 slides. color. Disponível em: <https://indico.rnp.br/event/59/sessions/118/attachments/178/275/wrnp2022-Mercado-CelsoVBoas.pdf>. Acesso em: 6 nov. 2022.

ZEILINGER, Anton. **A face oculta da natureza**: O novo mundo da física quântica. 1. ed. São Paulo: Globo, 2005. p. 1-205.