

**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO,
CIÊNCIA E TECNOLOGIA DO RIO GRANDE DO SUL –
CAMPUS PORTO ALEGRE
LICENCIATURA EM CIÊNCIAS DA NATUREZA:
BIOLOGIA E QUÍMICA**

**A CONTRIBUIÇÃO DE LINUS PAULING PARA O ENSINO DE QUÍMICA:
DISTRIBUIÇÃO ELETRÔNICA, ELETRONEGATIVIDADE E LIGAÇÕES
QUÍMICAS NOS LIVROS DE QUÍMICA
DO PNLEM DE 2021**

GUSTAVO LUIZ TIMM

Porto Alegre
2025

GUSTAVO LUIZ TIMM

**A CONTRIBUIÇÃO DE LINUS PAULING PARA O ENSINO DE QUÍMICA:
DISTRIBUIÇÃO ELETRÔNICA, ELETRONEGATIVIDADE E LIGAÇÕES
QUÍMICAS NOS LIVROS DE QUÍMICA
DO PNLEM DE 2021**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Instituto Federal do Rio Grande do Sul (IFRS) – *Campus* Porto Alegre como parte dos requisitos para a obtenção do título de Licenciado em Ciências da Natureza: Biologia e Química.

Orientadora: Prof.^a Dr.^a Andréia Modrzejewski Zucolotto

Porto Alegre

2025

AGRADECIMENTOS

A conclusão deste trabalho representa muito mais do que o encerramento de um ciclo acadêmico; simboliza uma jornada de aprendizado, crescimento pessoal e superação. Por isso, deixo aqui meus sinceros agradecimentos a todos que, de alguma forma, contribuíram para que esse momento se tornasse possível.

Em primeiro lugar, agradeço à minha esposa, Heloisa Helena, companheira incansável, pelo amor, paciência, incentivo e compreensão ao longo de toda essa trajetória. Seu apoio constante foi essencial nos momentos de dificuldade e sua confiança em mim sempre foi uma fonte de motivação.

Agradeço profundamente à minha orientadora, a Professora Dra. Andréia Modrzejewski Zucolotto, pela dedicação, paciência, orientação precisa e incentivo, sua experiência, disponibilidade e comprometimento foram fundamentais para a realização deste trabalho.

Sou grato ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Sul – *Campus* Porto Alegre, por proporcionar uma formação de excelência, pautada no compromisso com a educação pública, gratuita e de qualidade. Em especial, agradeço aos professores de Biologia e Química, e demais professores de outras disciplinas, pela sólida base teórica e prática fornecida ao longo do curso de Licenciatura em Ciências da Natureza: Biologia e Química.

À direção e à administração do *campus*, deixo meu reconhecimento e gratidão pela infraestrutura, organização e empenho em manter um ambiente educacional acolhedor, eficiente e motivador, mesmo diante dos inúmeros desafios que envolvem a gestão do ensino público.

A todos os colegas, professores e funcionários que fizeram parte dessa caminhada, meu muito obrigado. Cada contribuição foi valiosa e marcou minha formação de forma significativa.

“Chemistry is wonderful! I feel sorry for people who don't know anything about chemistry. They are missing an important source of happiness.”

“A química é maravilhosa! Sinto pena das pessoas que não sabem nada sobre química. Elas estão perdendo uma importante fonte de felicidade.”

Linus Carl Pauling (1901-1994)

RESUMO

Esta pesquisa tem como foco a obra do cientista Linus Carl Pauling, um dos químicos mais influentes do século XX, destacando suas contribuições para o ensino de Química, especialmente por meio do Diagrama de Linus Pauling, das ligações químicas, eletronegatividade e história da Química. O objetivo geral da pesquisa foi analisar como essas contribuições são abordadas em sete livros didáticos de Ciências da Natureza, aprovados pelo PNLEM do ano de 2021, destinados ao primeiro ano do Ensino Médio, na parte referente à Química. Os objetivos específicos contemplaram a análise da abordagem do tema da distribuição eletrônica, a ênfase dada a Pauling na história da Química, bem como a contribuição do cientista no estudo das ligações químicas e da eletronegatividade, e a verificação da existência de outros diagramas de organização eletrônica além do proposto por ele. A pesquisa caracteriza-se como qualitativa, de abordagem exploratória, utilizando análise documental das sete coleções didáticas por meio de oito pontos de análise. O referencial teórico enfatiza a importância histórica e científica de Linus Pauling, o papel do livro didático como ferramenta pedagógica e o contexto do PNLD e da BNCC na produção e distribuição de materiais didáticos de Ciências da Natureza. Os resultados indicam que apesar da relevância de Pauling, seu nome é frequentemente omitido nos livros analisados, aparecendo apenas em referência ao diagrama, sem contextualização histórica ou científica. Conclui-se que, mesmo com mudanças curriculares e pedagógicas, os livros ainda estão distantes do modelo ideal defendido na literatura acadêmica.

Palavras-chave: Linus Carl Pauling; ensino de Química; distribuição eletrônica; história da Química; livros didáticos.

ABSTRACT

This research focuses on the work of scientist Linus Carl Pauling, one of the most influential chemists of the 20th century, highlighting his contributions to Chemistry education, especially through the Linus Pauling Diagram, chemical bonding, electronegativity, and the history of Chemistry. The primary objective was to analyze how these contributions are presented in seven Natural Sciences textbooks approved by the PNLEM in 2021 and intended for the first year of Brazilian high school, specifically in their chemistry sections. The specific objectives included examining the coverage of electronic configuration, the emphasis placed on Pauling's role in the history of Chemistry, his contributions to the study of chemical bonding and electronegativity, and the presence of other electronic configuration diagrams beyond the one he proposed. This qualitative and exploratory research employed a documentary analysis of the seven textbook collections, based on eight analytical criteria. The theoretical framework underscores the historical and scientific significance of Linus Pauling, the role of textbooks as pedagogical tools, and the context of the PNLD and BNCC in the production and distribution of Natural Sciences educational materials. The findings indicate that, despite Pauling's relevance, his name is frequently omitted from the analyzed textbooks, appearing only in reference to the diagram, without historical or scientific contextualization. It is concluded that, even with recent curricular and pedagogical reforms, the textbooks remain distant from the ideal model advocated in the academic literature.

Keywords: Linus Carl Pauling; Chemistry education; electronic configuration; history of Chemistry; textbooks.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 Anúncio de “A Natureza da Ligação Química”. (1939)	15
Figura 2 Várias edições diferentes de “A Natureza da Ligação Química”	19
Figura 3 Pauling na cerimônia de premiação do Nobel de Química. (1954).....	19
Figura 4 Linus Pauling recebendo o Prêmio Nobel da Paz de 1962	20
Figura 5 Pauling no Instituto Linus Pauling. Menlo Park, Califórnia. (1983)	25
Figura 6 É referido em livros didáticos publicados no Brasil como “Diagrama de Linus Pauling”	51
Figura 7 Diagrama de distribuição eletrônica proposto por Grenda	51
Figura 8 Esquema mnemônico proposto por Iza e Gil.....	52
Figura 9 Diagrama de distribuição eletrônica proposto por Parsons	52

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 Guia de análise dos LDQ.....	33
Quadro 2 Análise dos oito pontos do LDQ A.....	34
Quadro 3 Análise dos oito pontos do LDQ B.....	35
Quadro 4 Análise dos oito pontos do LDQ C.....	35
Quadro 5 Análise dos oito pontos do LDQ D.....	36
Quadro 6 Análise dos oito pontos do LDQ E.....	36
Quadro 7 Análise dos oito pontos do LDQ F.....	37
Quadro 8 Análise dos oito pontos do LDQ G.....	37
Quadro 9 Análise do ponto: a) “O livro aborda a distribuição eletrônica?” nas sete obras do PNLD 2021	39
Quadro 10 Análise do ponto: b) “O livro aborda a distribuição eletrônica e subníveis?” nas sete obras do PNLD 2021	40
Quadro 11 Análise do ponto: c) “O livro cita ou informa algo sobre o Cientista Linus Pauling?” nas sete obras do PNLD 2021	41
Quadro 12 Análise do ponto: d) “O livro apresenta o diagrama de Linus Pauling?” nas sete obras do PNLD 2021	42
Quadro 13 Análise do ponto: e) “O livro cita ou informa a distribuição eletrônica com referência a algum Cientista?” nas sete obras do PNLD 2021	43
Quadro 14 Análise do ponto: f) “O livro aborda ligações químicas e ao abordar, cita ou informa alguma referência ao Cientista Linus Pauling?” nas sete obras do PNLD 2021	45
Quadro 15 Análise do ponto: g) “O livro aborda sobre a eletronegatividade e ao abordar, cita ou informa alguma referência ao Cientista Linus Pauling?” nas sete obras do PNLD 2021	46
Quadro 16 Análise do ponto: h) “O livro aborda, cita ou informa a possibilidade de existir outros diagramas de organização (distribuição eletrônica) elementar?” nas sete obras do PNLD 2021	48

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

BNCC	Base Nacional Comum Curricular
ENEM	Exame Nacional do Ensino Médio
PNBE	Programa Nacional Biblioteca da Escola
PNLD	Programa Nacional do Livro Didático
PNLEM	Programa Nacional do Livro Didático para o Ensino Médio
LDB	Lei de Diretrizes e Bases da Educação Nacional
LDQ A	Editora FTD S.A. Multiversos: ciências da natureza
LDQ B	Editora Moderna Ltda. Conexões: ciências da natureza e suas tecnologias
LDQ C	Editora Moderna Ltda. Diálogo: ciências da natureza e suas tecnologias
LDQ D	Editora Moderna Ltda. Ciências da Natureza: Lopes & Rosso
LDQ E	Editora Moderna Ltda. Moderna Plus: ciências da natureza e suas tecnologias
LDQ F	Editora Scipione S.A. Matéria, Energia e Vida: uma abordagem interdisciplinar
LDQ G	Edições SM Ltda. Ser Protagonista: ciências da natureza e suas tecnologias
OSU	Oregon State University

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	10
2 OBJETIVOS.....	12
2.1 Objetivo geral.....	12
2.2 Objetivos específicos	12
3 REFERENCIAL TEÓRICO.....	13
3.1 Ensino de distribuição eletrônica: história e importância.....	13
3.2 O cientista Linus Carl Pauling	19
3.3 O livro didático no ensino de Química.....	26
3.4 O Programa Nacional do Livro Didático (PNLD)	27
4 CAMINHOS DA PESQUISA	30
5 RESULTADOS E DISCUSSÕES	39
6 CONSIDERAÇÕES FINAIS	54
7 REFERÊNCIAS.....	56

1 INTRODUÇÃO

Como ramo da ciência, a Química investiga a essência da natureza da matéria, suas propriedades e transformações. Ela revela-se em diferentes fenômenos da vida cotidiana, tais como na observação da liberação de gás por um comprimido efervescente ao reagir com a água, na mudança de cor em um prego enferrujado pela reação do ferro com o oxigênio, no amadurecimento de frutas, na emissão de luz por substâncias em reações de fotoluminescência, na produção de vinho a partir do suco de uva, dentre muitos outros.

Apesar dessa vasta presença no cotidiano, compreender determinados fenômenos químicos, por mais simples que pareçam, não é uma tarefa fácil. Visando superar essa dificuldade, os químicos, muitas vezes, procuram representar e modelar fenômenos, situações ou conceitos pertinentes a esta ciência. Entretanto, mesmo fazendo uso dessas representações e modelos ainda são persistentes as dificuldades para a compreensão dos fenômenos, em função da natureza abstrata da representação e da linguagem em muitos dos seus aspectos. No campo do ensino, tais dificuldades persistem, especialmente quando os conteúdos químicos são abordados de forma superficial ou inadequada em livros didáticos e salas de aula.

Na literatura e mesmo nas várias etapas do ensino formal, nos foi apresentado às histórias de cientistas de renome: Antoine-Laurent de Lavoisier, Joseph Louis Proust, Dmitri Ivanovic Mendeleev, Charles Darwin, Gregor Mendel, Ernest Rutherford, Niels Bohr, William Lewis, Marie Skłodowska-Curie, Albert Einstein, entre outros.

Eles são descritos com ideias à frente do seu tempo, dispostos a brigar contra convenções retrógradas em prol do avanço da ciência e da busca pela consolidação de novas verdades sobre temas estudados.

Porém, além dos nomes anteriormente referidos, há outro que me chamou a atenção: o cientista, educador e pacificador Linus Pauling.

Ele é considerado um dos químicos mais influentes do século XX, e é a personalidade principal que motivou o tema deste Trabalho de Conclusão de Curso.

Justamente quando o aluno é apresentado a um dos temas de maior dificuldade no ensino de Química no nível médio, surge o nome cientista Linus

Pauling, quando o estudante irá se deparar com as características energéticas dos átomos e o comportamento dos elétrons em relação às variações de energia, apresentando para o aluno o: “Diagrama de Linus Pauling”.

Tal esquema foi incluído pelo cientista Linus Pauling em seu livro “The Nature of the Chemical Bond” (Pauling, 1939), (Figura 1) como uma estratégia didática, e debatida em uma sequência de trabalhos publicados no Journal of Chemical Education no decorrer do século XX.

Segundo os autores Bianco e Meloni (2019), o esquema de distribuição de elétrons nos níveis de energia, conhecido no Brasil como Diagrama de Linus Pauling, foi incluído em programas da educação secundária e passou a ser usado de forma operatória sem qualquer problematização sobre a relação entre o esquema proposto e o fenômeno descrito.

Para Trindade, Rodrigues e Saito (2010), a história da ciência nos livros didáticos é abordada por meio de breves biografias, acarretando em um panorama superficial e, por vezes, distorcido no qual subentende-se a ciência como livre de erros, neutra e desenvolvida por gênios.

Usufruir da história da ciência para a abordagem do conhecimento químico contribui para demonstrar o processo gradativo e lento da construção do conhecimento, proporcionando um panorama mais amplo da real natureza da ciência, isto é, seus métodos e suas limitações, tendo como resultante, o desenvolvimento do senso crítico, no qual os saberes científicos são desmistificados sem destruir seu valor (Carvalho, 2007).

Nas pesquisas sobre a Educação em Química, o livro didático é fonte de estudo de diversas investigações, seja pela crítica à sua adoção indiscriminada na escola, seja pela sua importância, uma vez que auxilia o professor na prática pedagógica, na abordagem metodológica e na utilização de estratégias e nas decisões sobre a maneira como o conteúdo será ensinado, seja pelo impacto do livro didático na aprendizagem do aluno, no seu estudo e na construção dos conceitos estudados.

Na presente pesquisa, investigamos o conteúdo dos livros didáticos de Ciências da Natureza, especificamente sobre o ensino de Química, para o primeiro ano do Ensino Médio aprovados pelo PNLEM de 2021.

Analisamos sete coleções aprovadas pelo PNLEM/2021 da área do conhecimento de Ciências da Natureza e suas Tecnologias – as quais englobam os conceitos estudados nas disciplinas de Biologia, Química e Física.

Enfocando apenas a parte referencial de Química, de aplicação para o primeiro ano do Ensino Médio, foram analisadas quanto à fonte e indícios de elementos textuais, de abordagem e possíveis referências sobre Linus Pauling, que possam indicar ao aluno a ter uma concepção concreta da grande colaboração desse Cientista, no ensino da química.

Este trabalho analisou ainda, para além de suas contribuições coletivas, no que se refere ao conteúdo de distribuição eletrônica, apresentação ou não do: “Diagrama de Linus Pauling”, e sua aplicação no ensino de Química, e ainda suas contribuições nas ligações químicas e eletronegatividade.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo geral

Analisar como são abordados os temas: produção científica e história do cientista Linus Pauling e sua contribuição para o estudo da distribuição eletrônica, ligações químicas e eletronegatividade, em livros didáticos de Química do PNLEM de 2021.

2.2 Objetivos específicos

Para atender ao objetivo geral, ele se desdobra em dois objetivos específicos, quais sejam:

(i) Analisar, nas obras selecionadas, como é abordado tema distribuição eletrônica e qual a ênfase dada para o cientista Linus Pauling na história da Química, além da distribuição eletrônica, bem como sua contribuição nas ligações químicas e eletronegatividade.

(ii) Verificar se os livros didáticos selecionados salientam a possibilidade de existir outros diagramas de organização (distribuição eletrônica) elementar.

3 REFERENCIAL TEÓRICO

Os argumentos que trazem sustentação teórica ao trabalho abordam no item 3.1 a história e a importância do ensino de distribuição eletrônica, eletronegatividade e ligações químicas. Já no item 3.2, descrevemos a trajetória do Cientista Linus Pauling, e dando sequência no item 3.3, tratamos do livro didático no ensino de Química, e assim, finalizando no item 3.4, o Programa Nacional do Livro Didático (PNLD).

3.1 Ensino de distribuição eletrônica: história e importância

Como aponta Silva *et al.* (2021) o entendimento da configuração eletrônica se confunde com a descoberta dos elétrons, pois Thomson ao descobrir os corpúsculos negativos (hoje denominados elétrons) se preocupou em como estariam organizados no novo modelo atômico proposto, a partir dali considerado divisível. Ele, por meio de cálculos, sugeriu que os elétrons se movimentam em alta velocidade e seriam distribuídos de forma crescente em anéis concêntricos e coplanares (Thomson, 1904, *apud* Lopes, 2009).

Desde então, tem sido um desafio elucidar de forma detalhada o universo atômico da matéria, pois é preciso aplicar em determinados pontos deste tópico conhecimentos fundamentados em princípios e métodos da mecânica quântica, bem como fazer uso de conceitos matemáticos complexos. O físico dinamarquês Niels Bohr foi o primeiro a introduzir princípios quânticos em estudos da estrutura atômica, além de ter sido um dos pioneiros no fornecimento de explicações fundamentais da tabela periódica, em termos de configurações eletrônicas (Scerri, 2013).

Então, a busca pelo conhecimento nos apresentou várias proposições, modificações e correções que foram realizadas. Em especial, podemos citar as contribuições de Bohr, Stoner, Sommerfeld, Madelung e Pauling, para o que hoje conhecemos como configuração/distribuição eletrônica de átomos.

Segundo Schwarz (2010), a compreensão do ordenamento dos elétrons em níveis e subníveis é um dos principais tópicos dos cursos introdutórios de Química.

Conhecer os arranjos eletrônicos de átomos e íons dos elementos químicos que constituem a matéria é importante, pois é através dessas informações que conseguimos compreender diversos conteúdos e conceitos da Química, tais como ligações químicas, estrutura dos compostos e diferentes propriedades a eles atribuídas. Entretanto, quando esse tópico é abordado em sala de aula, os estudantes o consideram como sendo um dos mais complexos do programa de Química para o Ensino Médio (Santos *et al.*, 2015).

Alguns autores destacam que uma forma para solucionar essas dificuldades é com o auxílio do desenvolvimento de recursos mnemônicos. Ao longo do tempo, muitos exemplos foram publicados no periódico *Journal of Chemical Education*, como por exemplo, os trabalhos de Hazlehurst (1941), Yi (1947), Hovland (1986), Garofalo (1997) e Kurushkin (2015). Importante ressaltar que a proposta de Hazlehurst (1941) foi a primeira que citou o trabalho de Pauling (1939).

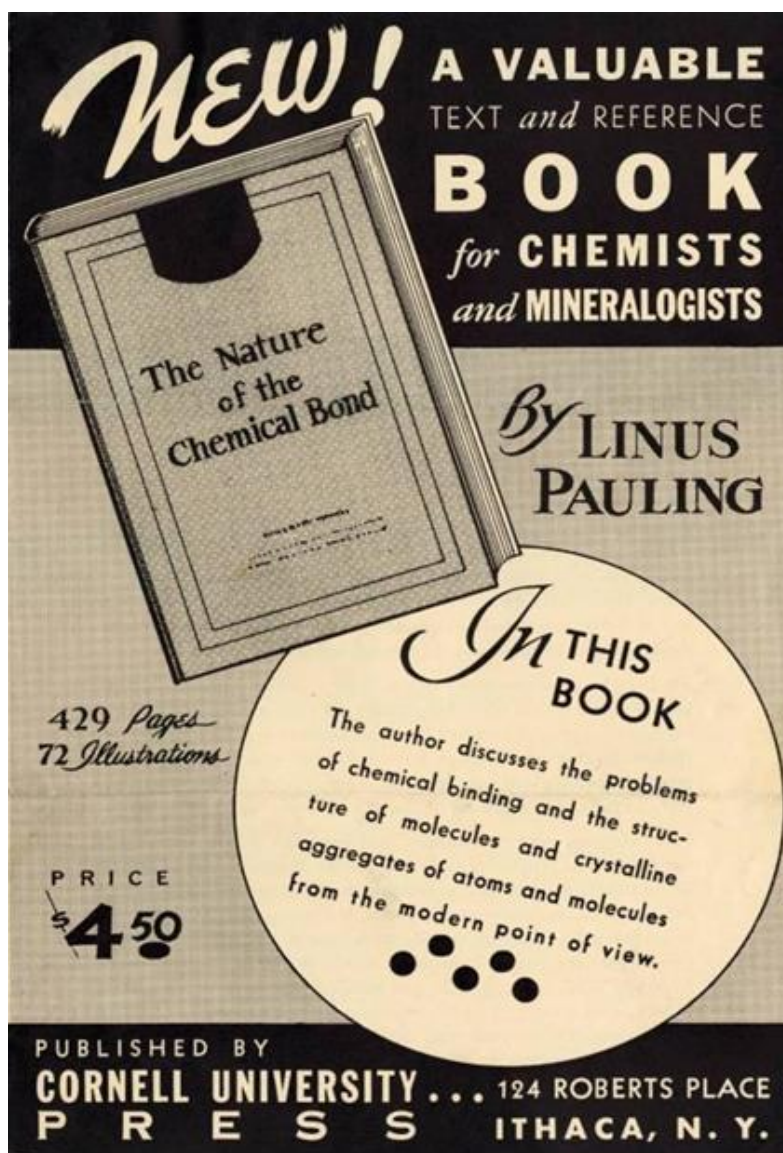
Quando ocorre o processo de ensino da temática de configurações eletrônicas no Ensino Médio, tanto professores quanto livros didáticos utilizam, comumente, o diagrama de Linus Pauling como recurso favorito para auxiliar na distribuição desses elétrons, apenas citando o nome do Linus Pauling, sem demais informações sobre como a elaboração deste recurso foi uma construção coletiva da ciência, em vários aspectos da história da química.

O seu emprego no ensino de configurações eletrônicas possui, entre outros objetivos, o intento de eliminar a necessidade de cálculos, assim como apresentar as diferenças de energias existentes entre os orbitais.

Esse princípio é também conhecido como regra de Bohr, ou regra de Madelung, pelo fato destes cientistas terem proposto as regras com as quais este último construiu o diagrama que, posteriormente, foi popularizado por Linus Pauling.

Tal diagrama de distribuição de elétrons foi inserido por Pauling em seu livro “*The Nature of the Chemical Bond*”, no ano de 1939, (Figura 1) utilizado como uma técnica didática (Bianco; Meloni, 2019). Com a pesquisa desses autores, no Brasil, no início da década de 60, o recurso didático foi acrescentado aos programas de educação secundária e passou a ser operado sem apresentar uma problematização entre o esquema proposto e o fenômeno descrito.

Figura 1 - Anúncio de “A Natureza da Ligação Química”. (1939).



Fonte: <https://scarc.library.oregonstate.edu/>.

No ensino das teorias quânticas relacionadas à estrutura da matéria e à ligação química, utilizam-se os diagramas de energias dos orbitais. Em ambas as circunstâncias, esses diagramas enfatizam visualmente o Princípio da Construção (ou Princípio de *Aufbau*), que consiste em distribuir os elétrons, um a um, em ordem crescente de energia, com o propósito de obter a configuração eletrônica de átomos, íons e moléculas (Rozentalski; Porto, 2018).

Essa formação energética que compõe o recurso empregado para auxiliar na elaboração de configurações eletrônicas de átomos e íon foi construída por um conjunto de regras empíricas.

Entre as regras que devem ser seguidas, está a do físico dinamarquês Niels Bohr, segundo a qual os subníveis devem ser ocupados seguindo uma ordem crescente de energia ($n + l$).

Complementando essa regra, o físico alemão Erwin Madelung definiu que, nos casos em que $(n + l)$ sejam iguais para dois subníveis, o primeiro subnível a ser preenchido é o que apresenta o menor valor de n .

Obedecendo a essas determinações, o início da configuração eletrônica deve começar com a primeira seta cruzando orbital $1s$, seguindo as setas para baixo e em direção à margem esquerda do diagrama, dando sequência, a ordem energética de preenchimento dos orbitais com elétrons ocorre de acordo com a seguinte ordem: $1s < 2s < 2p < 3s < 3p < 4s < 3d < 4p < 5s < 4d < 5p \dots$

Devemos citar Chassot (2003), o qual sugere que a inserção da história da química se reveste de um papel essencial para que o aluno desenvolva uma visão abrangente da Química em uma perspectiva de alfabetização científica.

Assim, questiona-se, o estudo da configuração eletrônica continua a ser importante? Sim, para mim, como futuro professor, considero o estudo muito importante, pois ajudará e facilitará muitos ensinamentos.

A determinação da configuração eletrônica de átomos se apresenta como um conhecimento fundamental em Química e como um conceito básico para a compreensão de: (i) das propriedades periódicas dos elementos; (ii) da reatividade; (iii) das ligações químicas (Salehzadeh, Maleki, 2016; Rozentaliski, Porto, 2018; Scerri, 2019).

Ainda que Pauling, em seu livro de Química Geral afirmou que o estudo da Química pode ser simplificado a partir de uma boa compreensão da estrutura eletrônica dos átomos, isto é, que “a Química seja mais fácil de entender e de lembrar” (Pauling, 1982 p.53).

Embora esse tema seja trabalhado desde o final do Ensino Fundamental e, constantemente, exigido em concursos públicos, vestibulares e o Exame Nacional do Ensino Médio (ENEM), em certos aspectos, como na ordem de preenchimento dos orbitais para alguns elementos, apresenta problemas quanto ao ensino e à aprendizagem.

Em relação às dificuldades para o ensino de configurações eletrônicas, um ponto de destaque, especialmente no ensino médio, é o que trata das energias dos elétrons de valência dos átomos seguindo o Princípio de *Aufbau*,

expresso no diagrama de Pauling, que nem sempre é condizente com a realidade.

O ensino de Ciências deve ter como objetivo proporcionar condições para que os estudantes entendam a Ciência como uma possibilidade de construir modelos para interpretar a realidade, superando a visão simplista na qual esta tem a função apenas de descobrir a estrutura e funcionamento da natureza. Para tanto, é preciso proporcionar uma aprendizagem de conceitos que não tenha como base uma lista de dados que serão memorizados e reproduzidos, uma vez que compreender requer pôr em marcha processos cognitivos mais complexos do que repetir (Pozo; Crespo, 2009).

Segundo os autores Pozo e Crespo (2009), entende-se que uma pessoa adquire um conceito quando é capaz de dar significado a uma informação que lhe é apresentada, ou seja, consegue traduzir algo em suas próprias palavras, por meio dos conceitos que ela elaborou a partir do conjunto de significados que possui.

Nesse contexto, a elaboração de configurações eletrônicas de átomos utilizando o diagrama de Pauling, em alguns casos gera previsões incorretas na ordem de distribuição dos elétrons nos orbitais, conduzindo instrutores a transmitirem informações educacionais equivocadas (Scerri, 2013).

De acordo com o autor, nesse diagrama, o orbital 4s, por exemplo, possui uma energia menor que os orbitais 3d para todos os átomos, o que não é verdadeiro; ou que o orbital 5s tem energia menor que os orbitais 4d, que também não é verdade para todos os átomos. Problemas semelhantes ocorrem em átomos presentes nos elementos do bloco f.

Em referência especificamente à situação das energias dos orbitais 3d e 4s, a relação citada anteriormente somente é válida para os átomos de potássio (K) e cálcio (Ca), dentre os elementos químicos inseridos na quarta linha da tabela periódica (Salehzadeh; Maleki, 2016).

Um antigo problema no ensino de configurações eletrônicas de átomos dos metais de transição é a ordem pela qual os orbitais são preenchidos. Como os elementos do primeiro período dos elementos de transição, colocados no quarto período da tabela periódica, têm números atômicos maiores do que os do potássio (K) e do cálcio (Ca), os estudantes podem ser influenciados por meio da ordem de seus preenchimentos, a desenvolverem uma conclusão errônea,

colocando todos os átomos desses elementos de transição seguindo a mesma regra, ou seja, com os elétrons ocupando o subnível 3d após o 4s e também deduzindo os elétrons mais externos como sendo pertencentes ao subnível 3d (Salehzadeh; Maleki, 2016).

Mesmo a figura do diagrama de Pauling auxiliando na compreensão e elaboração de configurações eletrônicas, segundo Santos e Silva (2013), distorções conceituais dadas por livros do ensino médio, como as utilizadas nesse processo, dificultam a aprendizagem científica, bem como a formação de concepções alternativas.

E, complementando, não apresentam a grande contribuição do cientista Linus Pauling, para o ensino da química (especialmente com sua introdução do conceito de eletronegatividade em 1932), associando seu nome somente a uma regra mnemônica para facilitar a aprendizagem, sendo este cientista reconhecido como um dos cientistas mais influentes do século XX.

Além disso, suas obras sobre a natureza das ligações químicas e suas pesquisas em química quântica, com o aprimoramento da teoria eletrônica de valência até a forma atual deve-se ao desenvolvimento da mecânica quântica.

Esta tem permitido o esclarecimento da ligação química. Linus Pauling (1901-1994) fundamenta-se nos resultados de Gilbert Newton Lewis (1875 - 1946) - ao considerar que a ligação química ocorre a partir da atração de núcleos atômicos e pares eletrônicos - e dos avanços da teoria quântica para sugerir o conceito de ressonância do(s) elétron(s) ao ser atraído por núcleos atômicos e formando a ligação química. Tais estudos ajudaram a moldar a forma como a química é ensinada e compreendida hoje em dia.

Considerando os aspectos mencionados, esta pesquisa tem sua importância na análise de como os assuntos “distribuição eletrônica e Linus Pauling”, estão inseridos nos livros didáticos do PNLEM de 2021.

Investiga ainda se sua contribuição nos estudos das ligações químicas e eletronegatividade, no conteúdo de Química do primeiro ano do ensino médio, se for o caso, que se pense em novas estratégias para corrigi-los e melhorá-los.

Figura 2 - Várias edições diferentes de “A Natureza da Ligação Química”.
Publicado originalmente em 1939.



Fonte: Foto de Jason Hughson (2004). <https://scarc.library.oregonstate.edu/>.

3.2 O cientista Linus Carl Pauling

Figura 3 – Pauling na cerimônia de premiação do Nobel de Química (1954).
Estocolmo, Suécia com sua nora, filha e esposa.



Fonte: <https://www.sciencehistory.org/stories/magazine/linus-paulings-vitamin-c-crusade/>

Figura 4 – Linus Pauling recebendo o Prêmio Nobel da Paz de 1962.



Fonte: <https://www.sciencehistory.org/>

Linus Carl Pauling nasceu em Oregon (Portland, EUA), em 28 de fevereiro de 1901. Em seus últimos anos de graduação, Pauling tomou conhecimento dos trabalhos de Gilbert N. Lewis e Irving Langmuir sobre a estrutura eletrônica dos átomos e ligação química. Decidiu que essa seria a sua linha de estudos no futuro. Pauling graduou-se em Engenharia Química pela Oregon State College, atualmente, Oregon State University - OSU em 1922.

Em 1926, após o doutorado no Instituto de Tecnologia da Califórnia (Caltech), Pauling conquistou uma bolsa da fundação Guggenheim para realizar estudos e pesquisas com Arnold Sommerfeld, na Alemanha, Niels Bohr, em Copenhague, e Erwin Schrödinger, na Suíça. Pauling queria saber como a mecânica quântica poderia ajudar na compreensão da estrutura eletrônica dos átomos e moléculas.

Inicialmente, a teoria quântica, com sua linguagem matemática, não foi rapidamente assimilada pelos químicos.

O octeto de Lewis prevalecia nas representações das ligações. A formação de sais era descrita através das ligações eletrovalentes, para

diferenciar das ligações covalentes, termo utilizado por Langmuir, em compostos não metálicos. A racionalização do comportamento químico através das ligações, com base nos princípios da mecânica quântica, foi a grande contribuição de Linus Pauling, conhecido como cientista, educador e pacificador.

Pauling é considerado um dos químicos mais influentes do século XX, e é a personalidade principal desta pesquisa.

Em 1927, Pauling foi aceito como professor-assistente no Instituto de Tecnologia da Califórnia (Caltech) na área de química teórica.

No Instituto de Tecnologia da Califórnia, Pauling tornou-se amigo do físico teórico Robert Oppenheimer, da Universidade Berkeley (Califórnia). Junto com Oppenheimer, pretendia atacar o problema da natureza da ligação química, mas isso acabou não acontecendo por problemas de relacionamento.

Consultando a Oregon State University (OSU/1925-1954), Pauling conversou pessoalmente com vários pesquisadores durante sua permanência no Instituto de Física Teórica na Universidade de Munique, entre os anos 1926 e 1927.

A ciência que aprendera em Munique, Copenhague e Zurique foi a nova abordagem da teoria quântica, a qual compartilhou pessoalmente com Niels Bohr (do modelo atômico e da controvérsia com Einstein), Erwin Schrödinger (da equação da onda), Werner Heisenberg (do princípio da incerteza) e Wolfgang Pauli (do princípio da exclusão). Dessa maneira, podemos perceber a influência entre estes grandes cientistas e a formação do pensamento de Linus Pauling, pois Pauling considerava que o tratamento dado aos átomos, moléculas e íons deveria receber um olhar químico (da química molecular e estrutural) e não apenas físico. Era comum a crença dentro do Coletivo de Pensamento dos físicos que o tratamento aos átomos era função exclusiva da física. Tornando-se possível, desse modo, as trocas de pensamentos e influências recíprocas, visto que o processo de conhecimento não é um processo individual, mas sim uma atividade coletiva de contribuições.

No contexto científico da época, a teoria quântica marcava uma nova base para a ciência, simbolizando uma nova maneira de avançar na busca de aperfeiçoamento e compreensão dos fenômenos, com grandes influências para a física e para a química.

Sua carreira foi brilhante, continuou os estudos de cristalografia de raios X e passou a realizar cálculos de mecânica quântica em átomos e moléculas. Em 1929, foi promovido a professor-associado e, em 1930, já era professor pleno.

No ano seguinte, Pauling publicaria seu trabalho sobre a hibridização de orbitais atômicos e sua aplicação na teoria da valência.

Em 1932, Pauling introduziu o conceito de eletronegatividade. Tomando como base as energias das ligações e os momentos de dipolo, ele criou uma escala numérica para os elementos para expressar a maior ou menor atração dos elétrons compartilhados pelos átomos envolvidos. Esse conceito tornou-se de grande utilidade na discussão das ligações químicas, e na previsão da polaridade e energia das ligações.

Os trabalhos de Pauling sobre a natureza da ligação química deram origem ao seu livro “The Nature of the Chemical Bond”, (Figura 2), publicado originalmente em 1939, e depois em várias línguas. Esse livro é considerado um dos mais influentes na química, em todos os tempos. Nos 30 anos após a primeira edição, já havia sido citado 16.000 vezes.

Outro aspecto importante introduzido por Pauling foi o conceito de ressonância para explicar a estrutura de hidrocarbonetos aromáticos como o benzeno.

Pauling manteve-se afastado da política até a Segunda Guerra Mundial, mas, com o seu desenrolar decidiu ser mais participativo. Assim, Pauling tornou-se um líder no movimento pacifista, tanto é que, recusou o convite de Oppenheimer para participar do Projeto Manhattan. Entretanto, participou de outros projetos com aplicações militares, como explosivos, propelentes balísticos, medidores de oxigênio para submarinos, entre outros. Suas contribuições foram reconhecidas com a Medalha do Mérito outorgada pelo Presidente dos Estados Unidos da América.

Em 1946, Pauling entrou para um Comitê de Cientistas encabeçado por Albert Einstein, cuja missão era alertar o público sobre os riscos das armas nucleares. Sua atuação foi detectada pelo Departamento de Estado Americano e, em 1952, seu passaporte foi bloqueado, negando-lhe a permissão de proferir uma importante conferência científica em Londres. Seu passaporte só foi

liberado em 1954, um pouco antes da cerimônia em Estocolmo, onde recebeu seu Prêmio Nobel de Química, (Figura 3).

Em 1955, uniu-se a Einstein, Bertrand Russell e oito líderes científicos e intelectuais no Manifesto pacifista Russell-Einstein. Em 1958, juntamente com sua esposa, apresentou uma petição às Nações Unidas, com mais de 11.000 assinaturas, pedindo o fim dos testes com as bombas nucleares. Ainda em 1958, integrou um grupo de professores da Universidade de Washington, solicitando um estudo governamental da presença de estrôncio-90 (radioativo) nos dentes da população em todo o país. Esse projeto foi conduzido pela Dra. Louise Reiss, com o título *Baby tooth survey*, mostrou de forma conclusiva, em 1961, que os testes nucleares acima da superfície ameaçavam a saúde pública através da chuva radioativa, que contaminou os campos, depois o leite das vacas e, conseqüentemente, entrando na cadeia alimentar. Em um debate com Edward Teller, Pauling alertou sobre a possibilidade de a chuva radioativa provocar mutações.

Linus Pauling redigiu o famoso "Apelo de Hiroshima", o documento final emitido após a Quinta Conferência Mundial contra as Bombas Atômicas e de Hidrogênio. Ele foi um dos principais impulsionadores que instou as potências nucleares dos EUA, União Soviética e Grã-Bretanha a concluir um tratado de proibição de testes nucleares, que entrou em vigor em 10 de outubro de 1963. No mesmo dia, o Comitê Nobel norueguês anunciou que Linus Pauling havia sido o ganhador do Prêmio Nobel da Paz que havia sido adiado desde 1962, (Figura 4).

Em 1963, a pressão da opinião pública colocou em moratória os testes nucleares e levou ao Tratado de banimento dos testes, assinado pelos presidentes John F. Kennedy e Nikita Khrushchev.

Além dos trabalhos com compostos inorgânicos, Pauling também se dedicou ao estudo de diversos compostos e sistemas biológicos.

Com base nesses trabalhos, Pauling começou a investigar a estrutura do DNA. Com os dados de raios X obtidos, ainda sem alta resolução, Pauling propôs que o DNA seria formado por hélices triplas. Algumas de suas premissas estavam erradas, como a da neutralidade dos grupos fosfatos.

Quando se espalhou a notícia de que Pauling estava trabalhando na estrutura do DNA, o Laboratório Cavendish autorizou Watson e Crick a

elaborarem um modelo molecular de DNA usando os dados de raios X ainda não publicados por Maurice Wilkins e Rosalind Franklin no King's College. Estes foram apresentados na conferência da Inglaterra em 1952, evento a que Pauling havia sido proibido de comparecer pelas autoridades americanas. Assim, em 1953, utilizando os dados de Rosalind Franklin, James D. Watson e Francis Crick propuseram a estrutura correta de dupla hélice do DNA. Os trabalhos de Rosalind Franklin foram decisivos para o sucesso de Watson e Crick, e Linus Pauling, certamente, teria formulado a hipótese de dupla hélice com antecedência se tivesse tido conhecimento daqueles dados.

Outra contribuição importante de Linus Pauling foi o estudo feito, em 1949, com Itano, Singer e Wells, sobre a anemia de células falciformes, onde eles caracterizaram a doença como um problema ao nível molecular, onde as hemácias abrigariam uma forma estruturalmente modificada de hemoglobina, afetando o seu desempenho normal.

Em 1970, publicava o livro "Vitamin C and the Common Cold". Depois fez estudos clínicos com Ewan Cameron, utilizando doses intravenosa e oral de vitamina C na terapia de pacientes terminais com câncer, e acabaram publicando em 1979 o livro "Cancer and Vitamin C".

Em 1973, Pauling entrou para o quadro de professores eméritos da Universidade de Stanford. Nesse mesmo ano, fundou com outros colegas, inclusive Arthur B. Robinson, o Instituto de Medicina Ortomolecular em Menlo Park, Califórnia, (Figura 5) que depois passaria a ser chamado de "Instituto Linus Pauling de Ciência e Medicina". No Instituto, começou a desenvolver suas atividades, e, também, trabalhava em seus artigos, permanecendo como diretor até 1992.

Linus Pauling conviveu com câncer de próstata, por mais de uma década, vindo a falecer em 19 de agosto de 1994.

Seu nome tem sido incluído na lista dos 20 maiores cientistas de todos os tempos, ao lado de Albert Einstein.

Recebeu centenas de prêmios e homenagens como cientista, educador e humanista, inclusive dois Prêmios Nobel individuais. Atuou em vários campos de pesquisa, publicou mais de 1.000 artigos e vários livros.

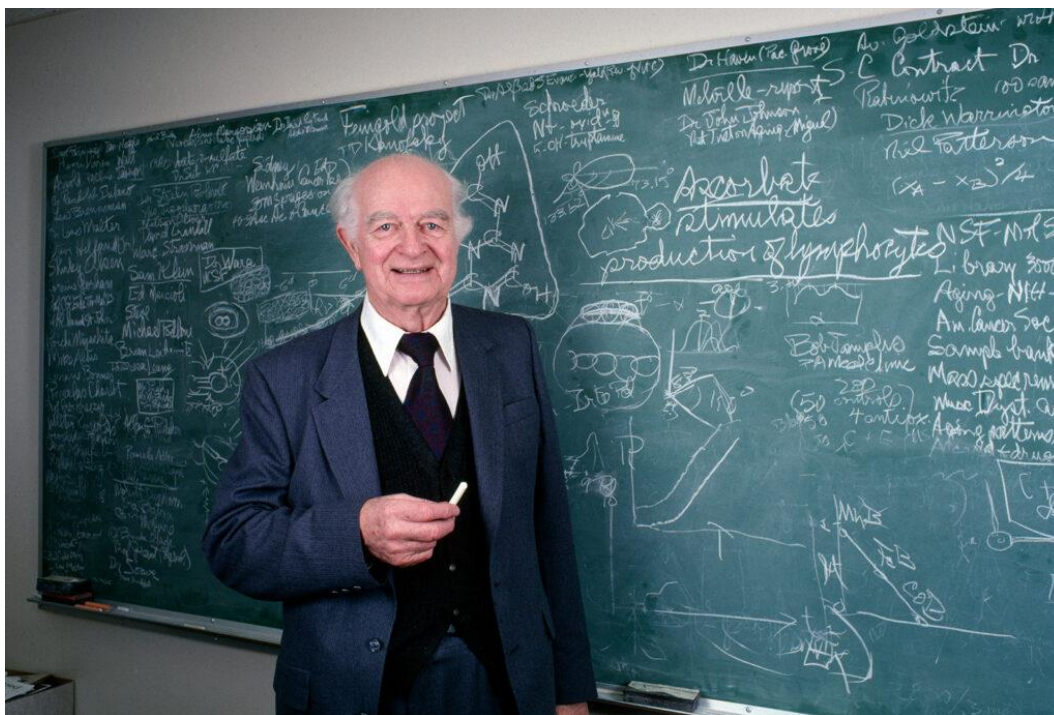
Muitos consideram o livro "The Nature of the Chemical Bond", (Figura 1), como o texto científico de maior influência no século XX.

Em 1996, o instituto que leva o seu nome mudou-se para Corvallis, tornando-se parte da Universidade Estadual de Oregon.

Pauling nunca relutou em provocar controvérsias ao expressar um pensamento pouco ortodoxo, porém sempre sustentando a moral, levando muitas vezes a agitar o público por uma causa nobre. Suas hipóteses científicas e a fértil imaginação provocaram calorosos debates científicos, médicos e políticos.

Assumiu riscos profissionais e pessoais que a maioria dos colegas nunca aceitaria. Decidido e insistente, raramente perdendo o equilíbrio, Pauling prosseguiu em seu rumo, inspirando e moldando gerações de cientistas, deixando um legado educacional e humanitário profundo.

Figura 5 - Pauling no Instituto Linus Pauling em Menlo Park, Califórnia. (1983).



Fonte: <https://www.sciencehistory.org/stories/magazine/linus-paulings-vitamin-c-crusade/>

3.3 O Livro Didático no ensino de Química

Os livros didáticos são materiais impressos ou digitais que contêm informações e atividades relacionadas aos conteúdos curriculares. O livro didático é uma ferramenta pedagógica que busca atender às necessidades de um determinado público, levando em conta suas características, faixa etária, nível de escolaridade, interesses e demandas específicas (Silva *et al.*, 2021).

Um dos maiores impasses para o ensino da Química, apontados por estudos de Pozo e Crespo (2009) é o fato de essa disciplina apresentar um elevado nível de abstração. Outro ponto a ser frisado como obstáculo para a aprendizagem de suas demandas curriculares é a dificuldade que estudantes apresentam em relacionar os níveis do conhecimento químico.

Alguns professores e estudantes apresentam dificuldades em abordar e/ou relacionar os aspectos do conhecimento químico, principalmente quando os conteúdos versados são de natureza abstrata, como a encontrada no tópico estrutura atômica. Para os professores, o obstáculo é encontrar uma forma de sistematizar os níveis submicroscópico e macroscópico, de maneira que os estudantes consigam entender a relação entre eles. Para os estudantes, o grande empecilho é visualizar corretamente o mundo submicroscópico e, posteriormente, fazer a relação desses conhecimentos com os fenômenos do cotidiano (Pozo; Crespo, 2009).

As relações entre os livros didáticos em Química e as produções curriculares nas escolas são temáticas constantes em diversas produções da área de ensino, seja em artigos, dissertações e livros (Loguercio, 2001).

Além disso, Loguercio (2001) identificou que, quando analisam um livro didático a ser usado em suas salas de aula, os professores de química buscam encontrar muitos exercícios para os vestibulares (atualmente pode se estender essa necessidade à preparação para o ENEM) e relações dos conteúdos com o cotidiano.

Destacam-se também trabalhos como os de Alice Lopes (1990) e Roseli Schnetzler (1981), que evidenciam alguns aspectos fundamentais da construção do conhecimento químico e a própria noção da epistemologia da ciência que estes livros didáticos podem produzir.

É importante ressaltar que os livros didáticos não são, por si mesmos, autossuficientes, necessitando, portanto, que o sujeito docente adote-os em momentos apropriados, adapte-os e complemente-os (Maia *et al.*, 2011).

Concordamos com Vaz e Bispo (2020) que argumentam que os livros didáticos de química, em prol de promover o letramento científico, devem apresentar o conteúdo de maneira clara e através de diversos gêneros textuais e gráficos que permitam mobilizar conhecimentos de outras áreas.

O uso do livro didático no Ensino da Química tem sido amplamente discutido na literatura acadêmica. Alguns autores apontam que, apesar das limitações e críticas, o livro didático ainda é um recurso importante para o ensino dessa disciplina.

Considerando o atual uso do livro didático na sala de aula, se justifica o presente estudo. No entanto, cabe destacar que concordamos com as críticas à ditadura do livro didático (Santomé, 1991) nas escolas brasileiras.

A crítica de Santomé (1991) à “ditadura do livro didático” mantém-se relevante, embora o cenário educacional brasileiro tenha se transformado significativamente. Com a implementação da BNCC, o fortalecimento do PNLD e a intensificação da digitalização após 2020, o livro didático deixou de ser um recurso exclusivamente impresso e centralizado, passando a integrar um ecossistema híbrido de materiais digitais e impressos. Essas mudanças ampliam as possibilidades pedagógicas, mas também deslocam e diversificam os centros de poder que influenciam o currículo, agora distribuídos entre editoras, plataformas digitais, políticas públicas e normativas curriculares. Assim, superar a “ditadura” do livro didático, em contexto contemporâneo, demanda políticas educacionais que promovam pluralidade, infraestrutura adequada, formação continuada de professores e processos transparentes de curadoria e participação na seleção dos materiais utilizados nas escolas.

3.4 O Programa Nacional do Livro Didático (PNLD)

Os livros didáticos, por sua vez, chegam às escolas por meio do Programa Nacional do Livro Didático (PNLD) que foi instituído em 1985.

E no ano de 2004 foi criado também, o Programa Nacional do Livro Didático no Ensino Médio (PNLEM).

Através desse programa, foi possível a distribuição gratuita de livros para as escolas públicas do país (Maia, *et al.*, 2011). Os livros didáticos devem apresentar um padrão mínimo de qualidade, por isso passam por uma análise criteriosa de especialistas e professores das áreas, a fim de serem aprovados e, posteriormente, chegarem até as instituições de ensino (Mendonça, *et al.*, 2013).

O Ensino Médio tem sido alvo de disputas nos últimos anos, uma vez que os índices educacionais do país revelam problemas neste nível da educação básica, sobre as quais não há espaço para aprofundamento neste texto. Porém vale destacar que em 2017 um "Novo Ensino Médio" (Lei Nº 13.415, de 16 de fevereiro de 2017) foi aprovado, alterando artigos da Lei de Diretrizes e Bases da Educação Nacional (LDB) relacionado ao Ensino Médio e instituindo uma Política de Fomento à Implementação de Escolas de Ensino Médio em Tempo Integral. As principais mudanças observadas foram: a estipulação de aumento gradual da carga horária do ensino médio de 800 a 1400 horas por ano. A previsão de que o currículo deve ser composto de uma Base Nacional Curricular (BNCC) e de "itinerários formativos" nas quatro áreas do conhecimento da referida base curricular (quais sejam: linguagens e suas tecnologias; matemática e suas tecnologias; ciências da natureza e suas tecnologias e ciências humanas e sociais aplicadas) e/ou formação técnica e profissional e a determinação de que, para o ensino médio, a carga horária destinada ao cumprimento da BNCC não pode ser superior a 1800 horas do total (Brasil, 2017a). Em 2024 tal lei foi parcialmente revogada e foi promulgada a Lei 14.945/2024, a qual busca resgatar alguns princípios anteriormente retirados desta etapa da escolarização. O debate permanece no âmbito da sociedade brasileira.

Além disso, cabe destacar que a Base Nacional Comum Curricular foi concluída em 2018, possui caráter normativo e orienta quais as aprendizagens, competências e habilidades essenciais que os alunos devem adquirir em cada nível de ensino, embora os entes federativos tenham autonomia na produção e promoção dos currículos (Brasil, 2018a; Alves *et al.*, 2021).

Prevista no artigo 35 - A da Lei de Diretrizes e Bases da Educação Nacional (LDB), a BNCC deve, no que tange ao Ensino Médio, estabelecer "direitos e objetivos de aprendizagem" que os alunos devem atingir nas quatro áreas do conhecimento. Ela constitui, junto com os itinerários formativos, ofertados conforme a "relevância para o contexto local e a possibilidade dos

sistemas de ensino", o currículo desse nível de ensino (Brasil, 2018b). Ela se constituirá como "referência nacional para currículo" dos sistemas de ensino e deve "contribuir para o alinhamento de outras políticas e ações [...] referentes à formação de professores, à avaliação, à elaboração de conteúdos educacionais e aos critérios para a oferta de infraestrutura adequada para o pleno desenvolvimento da educação" (Brasil, 2018a).

Na BNCC – e também no novo PNLD –, os conhecimentos de Química, Física e Química aparecem mesclados num único bloco, chamado "Ciências da Natureza e suas Tecnologias" (CNT), sendo a manutenção das disciplinas fragmentadas facultadas. Além disso, sugere uma abordagem baseada em três temáticas: Matéria e Energia, Vida e Evolução e Terra e Universo (Brasil, 2018a; Alves *et al.*, 2021).

Em relação à química, Alves *et al.* (2018) afirmam que a ênfase nas competências e habilidades relacionadas à disciplina foi reduzida em relação a documentos norteadores anteriores.

O Decreto nº 9.099, de 18 de julho de 2017, unificou as ações de aquisição e distribuição de livros didáticos e literários, anteriormente contempladas pelo Programa Nacional do Livro Didático (PNLD) e pelo Programa Nacional Biblioteca da Escola (PNBE). Com nova nomenclatura, o Programa Nacional do Livro e do Material Didático – PNLD, apesar da mesma sigla passou a incluir o Material Didático, e também teve seu escopo ampliado com a possibilidade de inclusão de outros materiais de apoio à prática educativa para além das obras didáticas e literárias: obras pedagógicas, softwares e jogos educacionais, materiais de reforço e correção de fluxo, materiais de formação e materiais destinados à gestão escolar, entre outros.

Além disso, a distribuição de livros para o Ensino Médio através do novo PNLD passará a ocorrer em 5 etapas: Obras de Projetos Integradores e Projetos de Vida (Objeto 1); Obras Didáticas por Áreas do Conhecimento e Obras Didáticas Específicas (Objeto 2); Obras de Formação Continuada (Objeto 3); Recursos Digitais (Objeto 4) e Obras Literárias (Objeto 5) (CONIF, 2021).

A junção dos conhecimentos de biologia, química e física no eixo de "Ciências da Natureza e suas Tecnologias" no Novo Ensino Médio e na BNCC teve influência no novo PNLD, que também apresenta os livros organizados dessa forma (Leal, 2021).

4. CAMINHOS DA PESQUISA

Os Livros Didáticos, objeto de estudo, são considerados como documento público e por esse fato, não foi necessário o desenvolvimento do termo de consentimento para realização desta pesquisa.

Então, esta pesquisa foi desenvolvida e categorizada quanto à natureza como qualitativa e quanto ao objetivo exploratória. É assumida como uma pesquisa qualitativa, conforme destaca Michel (2005). Nesta categoria de estudo a verdade se comprova na forma de experimentação empírica, a partir do detalhamento de análises consistentes e coerentes, assim como na argumentação fundamentada de ideias. Pois, se pode entender que esse tipo de pesquisa trabalha com interpretações, comparações e resultados que não podem ser mensuráveis numericamente.

Ela também teve objetivos exploratórios, uma vez que o objetivo principal deste tipo de análise foi o aprimoramento de ideias ou a descoberta de intuições. Seu planejamento foi flexível para possibilitar a consideração de diversos aspectos relativos ao objeto do estudo. Muitas vezes, a pesquisa exploratória abrange levantamento bibliográfico, entrevistas com pessoas envolvidas com a questão investigada e análise de exemplos que auxiliem na compreensão do estudo. No presente caso, envolveu apenas análise de livros didáticos, aqui assumidos como documentos que constituíram o corpus de análise.

Realizamos uma pesquisa documental que, segundo Lüdke e André (2018), é capaz de ser uma técnica muito importante de análise na abordagem qualitativa, seja complementando outros dados ou constituindo dados novos.

A pesquisa documental assemelha-se à pesquisa bibliográfica. A diferença principal está na natureza das fontes: a pesquisa bibliográfica se vale da contribuição de diversos autores para a discussão do tema, e a pesquisa documental se constitui de materiais ainda não analisados (Gil, 2009).

Segundo Leite e Possa (2013), a pesquisa documental possui uma série de vantagens: os documentos são fontes ricas e estáveis de dados e representam uma pesquisa de baixo custo, já que esse tipo de pesquisa depende, principalmente, da capacidade do pesquisador e de disponibilidade de tempo. Por outro lado, há críticas em relação à não representatividade e à subjetividade dos documentos. Por isso, para garantir a qualidade da pesquisa,

o pesquisador deve considerar um grande número de documentos e diversas implicações relativas a eles antes de chegar a alguma conclusão.

Nesta investigação científica foram escolhidos os livros didáticos da área de Ciências da Natureza mais atualizados, do ano de 2021, envolvendo sete obras.

De acordo com Leite e Possa (2013), as principais fontes da pesquisa documental são: documentos conservados em arquivos de órgãos públicos e instituições privadas, cartas pessoais, diários, fotografias, gravações, memorandos, regulamentos, ofícios, relatórios de pesquisa, tabelas estatísticas, entre outros.

Desenvolvemos uma pesquisa que se constituiu em uma análise da obra do Cientista Linus Pauling e sua contribuição para o estudo da distribuição eletrônica, das ligações químicas e da eletronegatividade.

Dando continuidade à pesquisa e para atingir os objetivos propostos, seguem as sete obras que foram selecionadas e aprovados pelo PNLEM/2021.

- a) Editora FTD S.A. - LDQ A - Coleção Multiversos: ciências da natureza¹
- b) Editora Moderna Ltda. - LDQ B - Conexões: ciências da natureza e suas tecnologias² Vol.
- c) Editora Moderna Ltda. - LDQ C - Diálogo: ciências da natureza e suas tecnologias³ Vol.1
- d) Editora Moderna Ltda. - LDQ D - Ciências da Natureza: Lopes & Rosso Livro: Evolução e Universo⁴
- e) Editora Moderna Ltda. - LDQ E - Moderna Plus: ciências da natureza e suas tecnologias⁵
- f) Editora Scipione S.A. - LDQ F - Matéria, Energia e Vida: uma abordagem interdisciplinar⁶
- g) Edições SM Ltda. - LDQ G - Ser Protagonista: ciências da natureza e suas tecnologias⁷

Todos os livros didáticos de Ciências da Natureza, utilizados no primeiro ano do ensino médio, no ensino de Química, foram aprovados pelo PNLEM de 2021, última edição do edital.

Lüdke e André (2018) expõem uma série de vantagens da análise documental. Entre as vantagens citadas aparecem que os documentos podem constituir uma fonte rica e estável de informações; podem ser consultados diversas vezes e servir de base para outros estudos posteriores, dando mais confiabilidade aos resultados; podem ser uma fonte de informação contextualizada, pois os documentos possuem um determinado contexto e podem fornecer informações sobre o contexto; têm baixo custo, geralmente requerem apenas tempo e atenção do pesquisador; consistem numa fonte de dados não-reativa, podendo o pesquisador ter acesso aos dados mesmo quando não se tem acesso direto com o sujeito.

Primeiramente realizou-se uma revisão da literatura, consultando os periódicos nacionais da área de ensino de química, visando compreender como tal temática é discutida nos artigos da área. Outra fonte de busca da história do cientista foi a página institucional da Universidade Estadual de Oregon, a qual contém uma coletânea de materiais do Cientista Linus Pauling, na qual está acessível para leituras.

Esta revisão bibliográfica permitiu a elaboração do referencial teórico deste trabalho de conclusão de curso e subsidiaram a análise das obras selecionadas para a investigação, serviram de apoio para as demais etapas da pesquisa e para reflexão sobre a criação de futuras categorias de análise dos livros didáticos de Química selecionados.

Cada livro didático de Química foi abreviado pelas letras iniciais de LDQ A sucessivamente, até LDQ G. De modo que o estudo ficasse mais dinâmico, os livros foram reunidos como mostrado a seguir no Quadro 1 - Guia de análise dos LDQ:

Quadro 1 - Guia de análise dos LDQ

Código	Editora	Coleção
LDQ A	Editores FTD S.A.	Multiversos: ciências da natureza.
LDQ B	Editores Moderna Ltda.	Conexões: ciências da natureza e suas tecnologias.
LDQ C	Editores Moderna Ltda.	Diálogo: ciências da natureza e suas tecnologias.
LDQ D	Editores Moderna Ltda.	Ciências da Natureza: Lopes & Rosso.
LDQ E	Editores Moderna Ltda.	Moderna Plus: ciências da natureza e suas tecnologias.
LDQ F	Editores Scipione S.A.	Matéria, Energia e Vida: uma abordagem interdisciplinar.
LDQ G	Edições SM Ltda.	Ser Protagonista: ciências da natureza e suas tecnologias.

Fonte: Elaborado pelo autor (2025).

Nesta pesquisa, a categorização partiu de oito pontos para análise que foram estabelecidos a priori, ou seja, antes da leitura de todo o *corpus* de pesquisa:

Pontos para análise:

- a) O livro aborda a distribuição eletrônica?
- b) O livro aborda a distribuição eletrônica e subníveis?
- c) O livro cita ou informa algo sobre o Cientista Linus Pauling?
- d) O livro apresenta o diagrama de Linus Pauling?
- e) O livro cita ou informa a distribuição eletrônica com referência a algum Cientista?
- f) O livro aborda ligações químicas e ao abordar, cita ou informa alguma referência ao Cientista Linus Pauling?
- g) O livro aborda sobre a eletronegatividade e ao abordar, cita ou informa alguma referência ao Cientista Linus Pauling?
- h) O livro aborda, cita ou informa a possibilidade de existir outros diagramas de organização (distribuição eletrônica) elementar?

Cada obra selecionada foi integralmente lida e analisada com o objetivo de identificar respostas às questões de pesquisa previamente elencadas nos oito pontos de análise, gerando os Quadros 2 a 8, nas sete obras selecionadas do PNLD de 2021, conforme o Quadro 1 - Guia de análise dos LDQ.

O referencial teórico, construído a partir da revisão bibliográfica, trouxe argumentos para a análise. Num primeiro movimento analítico foram exploradas cada uma das sete obras com relação aos oito pontos em estudo. O segundo movimento da investigação, foi no sentido de agrupar as questões, das setes obras, denominadas LDQ A até o LDQ G, trazendo uma visão por categorias analíticas, pré-definidas.

O resultado da exploração destes oito pontos de análise, nas sete coleções aprovadas pelo PNLD 2021, foi compilado e apresentado no Quadro 2 - Análise dos oito pontos do LDQ A, e assim sucessivamente, até o Quadro 8 - Análise dos oito pontos do LDQ G.

Quadro 2 - Análise dos oito pontos do LDQ A

Pontos para análise	Sim	Não
O livro aborda a distribuição eletrônica?	Pág. 73.	
O livro aborda a distribuição eletrônica e subníveis?	Págs. 73 e 74.	
O livro cita/informa algo sobre o Cientista Linus Pauling?	Apenas cita pág. 73.	
O livro apresenta o diagrama de Linus Pauling?	Apenas o ilustra sem indicativo de autoria, pág. 73.	
O livro cita/informa a distribuição eletrônica com referência a algum Cientista?	Apenas cita pág. 73. Bohr, Erwin Madelung, Vsevolod Markevic Klechkovsky, Linus Pauling.	
O livro aborda ligações químicas e ao abordar, cita/informa alguma referência ao Cientista Linus Pauling?	Aborda págs. 79 até 82.	Não cita/informa sobre o Cientista Linus Pauling.
O livro aborda sobre a eletronegatividade e ao abordar, cita/informa alguma referência ao Cientista Linus Pauling?	Aborda pág. 76, apresentando a tabela com valores de eletronegatividade de alguns elementos químicos.	Não cita/informa sobre o Cientista Linus Pauling.
O livro aborda, cita/informa a possibilidade de existir outros diagramas de organização (distribuição eletrônica) elementar?		X

Fonte: Elaborado pelo autor (2025).

Quadro 3 - Análise dos oito pontos do LDQ B

Pontos para análise	Sim	Não
O livro aborda a distribuição eletrônica?	Págs. 32 e 33.	
O livro aborda a distribuição eletrônica e subníveis?	Pág. 33.	
O livro cita/informa algo sobre o Cientista Linus Pauling?		X
O livro apresenta o diagrama de Linus Pauling?		X
O livro cita/informa a distribuição eletrônica com referência a algum Cientista?	Apenas Niels Bohr.	
O livro aborda ligações químicas e ao abordar, cita/informa alguma referência ao Cientista Linus Pauling?	Aborda, mas não cita/informa sobre o Cientista Linus Pauling, págs. 37 e 38.	
O livro aborda sobre a eletronegatividade e ao abordar cita/informa alguma referência ao Cientista Linus Pauling?		X
O livro aborda, cita/informa a possibilidade de existir outros diagramas de organização (distribuição eletrônica) elementar?	Pág.33.	

Fonte: Elaborado pelo autor (2025).

Quadro 4 - Análise dos oito pontos do LDQ C

Pontos para análise	Sim	Não
O livro aborda a distribuição eletrônica?	Pág. 55.	
O livro aborda a distribuição eletrônica e subníveis?	Pág. 62.	
O livro cita/informa algo sobre o Cientista Linus Pauling?		X
O livro apresenta o diagrama de Linus Pauling?		X
O livro cita/informa a distribuição eletrônica com referência a algum Cientista?	Apenas Niels Bohr.	
O livro aborda ligações químicas e ao abordar, cita/informa alguma referência ao Cientista Linus Pauling?	Aborda, mas não cita/informa sobre o Cientista Linus Pauling, págs. 62 e 63.	
O livro aborda sobre a eletronegatividade e ao abordar cita/informa alguma referência ao Cientista Linus Pauling?		X
O livro aborda, cita/informa a possibilidade de existir outros diagramas de organização (distribuição eletrônica) elementar?		X

Fonte: Elaborado pelo autor (2025).

Quadro 5 - Análise dos oito pontos do LDQ D

Pontos para análise	Sim	Não
O livro aborda a distribuição eletrônica?	Págs. 27, 28 e 29.	
O livro aborda a distribuição eletrônica e subníveis?	Págs. 28 e 29.	
O livro cita/informa algo sobre o Cientista Linus Pauling?	Pág. 29.	
O livro apresenta o diagrama de Linus Pauling?	Pág. 28, com o nome de diagrama das diagonais.	
O livro cita/informa a distribuição eletrônica com referência a algum Cientista?	Pág. 28, modelo de Bohr-Sommerfeld.	
O livro aborda ligações químicas e ao abordar, cita/informa alguma referência ao Cientista Linus Pauling?	Págs. 44 e 45.	
O livro aborda sobre a eletronegatividade e ao abordar, cita/informa alguma referência ao Cientista Linus Pauling?		X
O livro aborda, cita/informa a possibilidade de existir outros diagramas de organização (distribuição eletrônica) elementar?		X

Fonte: Elaborado pelo autor (2025).

Quadro 6 - Análise dos oito pontos do LDQ E

Pontos para análise	Sim	Não
O livro aborda a distribuição eletrônica?	Págs. 57 e 106.	
O livro aborda a distribuição eletrônica e subníveis?	Págs. 57 e 106.	
O livro cita/informa algo sobre o Cientista Linus Pauling?	Pág. 106, referência a eletronegatividade.	
O livro apresenta o diagrama de Linus Pauling?		X
O livro cita/informa a distribuição eletrônica com referência a algum Cientista?	Pág. 57, modelo de Bohr.	
O livro aborda ligações químicas e ao abordar, cita/informa alguma referência ao Cientista Linus Pauling?	Págs. 107, 109 e 111, aborda ligações químicas.	Não cita/informa sobre o Cientista Linus Pauling.
O livro aborda sobre a eletronegatividade e ao abordar, cita/informa alguma referência ao Cientista Linus Pauling?	Pág. 106. Inclusive com nota sobre sua obra: Pauling, L. The Nature of Chemical Bond, Ithaca: Cornell University Press, 1960.	

O livro aborda, cita/informa a possibilidade de existir outros diagramas de organização (distribuição eletrônica) elementar?		X
--	--	---

Fonte: Elaborado pelo autor (2025).

Quadro 7 - Análise dos oito pontos do LDQ F

Pontos para análise	Sim	Não
O livro aborda a distribuição eletrônica?	Págs. 118 e 119.	
O livro aborda a distribuição eletrônica e subníveis?	Págs. 120 e 121.	
O livro cita/informa algo sobre o Cientista Linus Pauling?	Pág. 122.	
O livro apresenta o diagrama de Linus Pauling?	Pág. 122.	
O livro cita/informa a distribuição eletrônica com referência a algum Cientista?	Pág. 116 - Contribuição de vários cientistas, Böhr, Wolfgang Pauli, Schrödinger, Linus Pauling.	
O livro aborda ligações químicas e ao abordar, cita/informa alguma referência ao Cientista Linus Pauling?	Págs. 106 e 111.	Não cita/informa sobre o Cientista Linus Pauling.
O livro aborda sobre a eletronegatividade e ao abordar, cita/informa alguma referência ao Cientista Linus Pauling?		X
O livro aborda, cita/informa a possibilidade de existir outros diagramas de organização (distribuição eletrônica) elementar?		Mas, associa as diferentes regiões da tabela periódica, de acordo com o último subnível preenchido por ocasião da distribuição eletrônica.

Fonte: Elaborado pelo autor (2025).

Quadro 8 - Análise dos oito pontos do LDQ G

Pontos para análise	Sim	Não
O livro aborda a distribuição eletrônica?	Págs. 36 e 37.	
O livro aborda a distribuição eletrônica e subníveis?	Págs. 37 e 67.	
O livro cita/informa algo sobre o Cientista Linus Pauling?	Págs. 75 e 106.	
O livro apresenta o diagrama de Linus Pauling?		X
O livro cita/informa a distribuição eletrônica com referência a algum Cientista?	Pág. 36, modelo de Bohr.	

O livro aborda ligações químicas e ao abordar cita/informa alguma referência ao Cientista Linus Pauling?	Págs. 69 até 72. O cientista Linus Pauling é citado na pág. 106, em um estudo de caso sobre ligações químicas e a vitamina C.	
O livro aborda sobre a eletronegatividade e ao abordar cita/informa alguma referência ao Cientista Linus Pauling?	Pág. 75.	
O livro aborda, cita/informa a possibilidade de existir outros diagramas de organização (distribuição eletrônica) elementar?		X

Fonte: Elaborado pelo autor (2025).

Enfim, tal como apresentado acima, os livros - considerados como documentos de análise - foram categorizados como apresentado, de acordo com as questões orientadoras e, posteriormente, nos resultados se explorará o processo de análise por categorias.

O *corpus* foi separado em unidades de registros, possibilitando que fosse realizada a inferência e interpretação do material, gerando os resultados e discussões apresentados a seguir.

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Para simplificar a discussão dos resultados, damos sequência ao Quadro 1: Guia de análise 1, no qual os livros foram codificados da seguinte maneira, como Livro Didático de Química A, LDQ A, da Editora FTD S.A, Coleção – Multiversos: ciências da natureza, e assim utilizou-se esta codificação para os demais livros a serem analisados, seguindo, LDQ B, da Editora Moderna Ltda., Conexões: ciências da natureza e suas tecnologias, LDQ C, da Editora Moderna Ltda., Diálogo: ciências da natureza e suas tecnologias, LDQ D, da Editora Moderna Ltda., Ciências da Natureza: Lopes; Rosso, LDQ E, da Editora Moderna Ltda., Moderna Plus: ciências da natureza e suas tecnologias, LDQ F da Editora Scipione S.A., Matéria, Energia e Vida: uma abordagem interdisciplinar, LDQ G da Edições SM Ltda., Ser Protagonista: ciências da natureza e suas tecnologias.

Sendo que em todos os LDQ, foram mapeados os oito pontos de análise conforme, demonstrado na sequência dos Quadros 2 até 8.

Podemos observar que todos os LDQ analisados, ou seja, os livros LDQ A, LDQ B, LDQ C, LDQ D, LDQ E, LDQ F, LDQ G abordam o tema distribuição eletrônica. Assim, passa-se a agrupar todas obras por questão analisada.

Identificamos a presença deste assunto nas obras analisadas, o que fica evidenciado no Quadro 9 - Análise do ponto a) “O livro aborda a distribuição eletrônica?” nas sete obras do PNLD 202

Quadro 9 - Análise do ponto a) “O livro aborda a distribuição eletrônica?” nas sete obras do PNLD 2021

Código	Sim	Não
LDQ A	Pág. 73.	
LDQ B	Págs. 32 e 33.	
LDQ C	Pág. 55.	
LDQ D	Págs. 27, 28 e 29.	
LDQ E	Págs. 57 e 106.	
LDQ F	Págs. 118 e 119.	
LDQ G	Págs. 36 e 37.	

Fonte: Elaborado pelo autor (2025).

Observamos que esse assunto consta nos livros do PNLD 2021. As obras abordam tal tema, referendando-o como um conteúdo importante para o ensino de Química, no primeiro ano do ensino médio.

No estudo da disciplina de Química, do primeiro ano do Ensino Médio, o conceito da distribuição eletrônica é uma metodologia utilizada para determinar a configuração eletrônica de um átomo. Por meio dela, é possível listar todos os elétrons de um átomo, dispostos nas camadas eletrônicas existentes e seus subníveis energéticos. A configuração eletrônica de um átomo é importante para se explicar e determinar as propriedades químicas de um átomo e, por isso, é preciso que o estudante aprenda a realizar a distribuição eletrônica e, assim, descrever a eletrosfera

Em seguida, compilam-se os dados referente ao segundo aspecto e, novamente verifica-se que todos os LDQ pesquisados sobre a análise do ponto b abordam tal conteúdo, como é demonstrado no Quadro 10 - Análise do ponto b) “O livro aborda a distribuição eletrônica e subníveis?”.

Quadro 10 - Análise do ponto b) “O livro aborda a distribuição eletrônica e subníveis?” nas sete obras do PNLD 2021

Código	Sim	Não
LDQ A	Pág. 73, 74.	
LDQ B	Pág. 33.	
LDQ C	Pág. 62.	
LDQ D	Págs. 28 e 29.	
LDQ E	Págs. 57 e 106.	
LDQ F	Págs. 120 e 121.	
LDQ G	Págs. 37 e 67.	

Fonte: Elaborado pelo autor (2025)

Cabe destacar, que nesta pesquisa estamos apenas constatando a presença da distribuição eletrônica e subníveis, mesmo de uma presença simples nos LDQ analisados, não particularizando seus conteúdos, mas ressaltando a sua importância e complementação, pois os elétrons em um átomo ocupam diferentes níveis de energia à medida que se afastam do núcleo. Cada nível de energia pode ser subdividido em subníveis (s, p, d, f), e cada subnível contém orbitais específicos que acomodam os elétrons.

Cabe destacar, que nesta pesquisa estamos apenas constatando a presença da distribuição eletrônica e subníveis, mesmo de uma presença simples nos LDQ analisados, não particularizando seus conteúdos, mas ressaltando a sua importância e complementação, pois os elétrons em um átomo ocupam diferentes níveis de energia à medida que se afastam do núcleo. Cada nível de energia pode ser subdividido em subníveis (s, p, d, f), e cada subnível contém orbitais específicos que acomodam os elétrons.

Compreender essa distribuição é fundamental para realizar corretamente a distribuição eletrônica.

Quanto a análise do ponto c, encontramos em nossa pesquisa diferentes citações, mas em algumas obras não é citado o nome do Cientista Linus Pauling, conforme o Quadro 11 - Análise do ponto c) “O livro cita ou informa algo sobre o Cientista Linus Pauling?”, abaixo.

Quadro 11 - Análise do ponto c) “O livro cita ou informa algo sobre o Cientista Linus Pauling?” nas sete obras do PNLD 2021

Código	Sim	Não
LDQ A	Apenas cita pág. 73.	
LDQ B		X
LDQ C		X
LDQ D	Pág. 29.	
LDQ E	Pág. 106, referência a eletronegatividade.	
LDQ F	Pág. 122.	
LDQ G	Págs. 75 e 106.	

Fonte: Elaborado pelo autor (2025).

No LDQ B e, também no LDQ C, ao analisarmos todas as páginas propostas por seus autores nos temas de distribuição eletrônica, distribuição eletrônica e subníveis, bem como ligações químicas e eletronegatividade, não é constatado nenhuma referência ao Cientista Linus Pauling.

Consideramos a importância de Pauling, para este trabalho e o estudo da distribuição eletrônica, ligações químicas e eletronegatividade, como constatado em nosso objetivo geral, pois ele é amplamente reconhecido como um dos principais químicos do século XX. Sendo o pioneiro na aplicação da Mecânica

Quântica em química, é a única pessoa a receber dois prêmios Nobel em categorias distintas sem dividi-los com outros cientistas.

Nas obras, LDQ A, D, E, F e G, ocorrem citações breves sobre o Cientista Linus Pauling, apenas citações sem muitas informações, ou referências para futura pesquisa, não orientando o aluno/leitor a uma complementação de informação. Com destaque no LDQ E, sendo este a apresentar ao estudante de química a contribuição deste cientista na pesquisa sobre a eletronegatividade, uma raridade nesta pesquisa sobre os LDQ, aprovados no PNLEM de 2021, citando sua obra: Pauling, L. The Nature of Chemical Bond, Ithaca: Cornell University Press, 1960.

Continuando nosso trabalho, segue o Quadro 12 - Análise do ponto d) “O livro apresenta o diagrama de Linus Pauling?”, abaixo:

Quadro 12 - Análise do ponto d) “O livro apresenta o diagrama de Linus Pauling?” nas sete obras do PNLD 2021

Código	Sim	Não
LDQ A	Mas apenas o ilustra sem indicativo de autoria, pág. 73.	
LDQ B		X
LDQ C		X
LDQ D	Pág. 28 com o nome de diagrama das diagonais.	
LDQ E		X
LDQ F	Pág. 122.	
LDQ G		X

Fonte: Elaborado pelo autor (2025).

Observa-se no Quadro 12, que no LDQ A ocorre a imagem como diagrama de distribuição, importante ressaltar que em texto referencial ao lado, ocorre a contribuição coletiva dos cientistas, Bohr, Erwin Madelung, Vsevolod Mavrikiyevich Klechkovsky, Linus Pauling. Dos LDQ analisados, esta foi a única obra que informa ao aluno, mesmo que em poucas linhas, a citação destes cientistas, mas ressalta-se que se dá apenas a citação, não ocorrendo uma nota explicativa ou indicação para futura pesquisa ao aluno/leitor, ponto que mereceria ser considerado ou revisado, pois pode gerar dúvidas quanto à história da ciência.

O LDQ D, apresenta ao aluno o nome de Diagrama das Diagonais, mas informa que esse diagrama também é conhecido como Diagrama de Pauling, em

lembração ao químico estadunidense Linus Carl Pauling, apenas uma simples referência, novamente sem indicação para uma futura complementação de pesquisa para o aluno/leitor.

O LDQ F, já referencia diretamente o Cientista Linus Pauling, e das obras selecionadas, apresenta uma sequência de textos relacionando distribuição eletrônica, tabela periódica e elétrons de valência, muito interessante didaticamente, segundo nossa observação como futuro docente de Ciências da Natureza: Biologia e Química.

Já as demais obras, ou seja, os LDQ B, LDQ C, LDQ E, LDQ G, não apresentam ou informam sobre o diagrama, optando por outros modelos de ensino, relembrando que o entendimento das configurações eletrônicas se constitui como um conhecimento fundamental em Química, pois permite explicar e prever diversas propriedades atômico-moleculares da matéria. Este tema, pela sua importância, deveria estar presente nos livros didáticos de Química (LDQ), no qual é relevante que sejam analisados, uma vez que podem dificultar a compreensão dos discentes acerca dos fenômenos químicos e suas explicações.

Agora, no Quadro 13 - Análise do ponto e) “O livro cita ou informa a distribuição eletrônica com referência a algum Cientista?”, como demonstrado abaixo, podemos constatar que todos os LDQ apresentam ou informam a distribuição eletrônica com citação a algum cientista.

Quadro 13 - Análise do ponto e) “O livro cita ou informa a distribuição eletrônica com referência a algum Cientista?” nas sete obras do PNLD 2021

Código	Sim	Não
LDQ A	Apenas cita pág. 73. Bohr, Erwin Madelung, Vsevolod Mavrikievich Klechkovsky , Linus Pauling.	
LDQ B	Apenas Niels Bohr.	
LDQ C	Apenas Niels Bohr.	
LDQ D	Pág. 28, modelo de Bohr-Sommerfeld.	
LDQ E	Pág. 57, modelo de Bohr.	
LDQ F	Pág. 116, Contribuição de vários cientistas, Bohr, Wolfgang Pauli, Schrödinger, Linus Pauling.	
LDQ G	Pág. 36, modelo de Bohr.	

Fonte: Elaborado pelo autor (2025).

Em todas as obras pesquisadas é relevante o Cientista Niels Bohr (1885-1962), um dos principais legados de Bohr para a ciência da física quântica foi a sua teoria do átomo conhecida como modelo de Bohr. Neste modelo, Bohr propôs que os elétrons ao redor do núcleo do átomo ocupam órbitas quantizadas, em vez de se moverem em órbitas contínuas, como se pensava anteriormente. Esta ideia revolucionária ajudou a explicar muitos fenômenos observados experimentalmente e estabeleceu as bases para o desenvolvimento da mecânica quântica.

Observamos que no LDQ A - em poucas palavras, surgem os nomes de Erwin Madelung, Vsevolod Mavrikievich Klechkovsky, Linus Pauling. E ainda se constata no LDQ F a citação de Wolfgang Pauli, Schrödinger e Linus Pauling, e se considera que essa é a melhor obra dentre as pesquisadas, por apresentar um maior número de páginas com referências da história da ciência, levando o aluno/leitor a perceber a evolução da física quântica e da distribuição eletrônica. Tal abordagem é um fato raro nesta investigação, mas nesta obra o tema está relacionando conceitos, associando como compreender a lógica da tabela periódica moderna e levando a constatar que átomos de elementos numa mesma coluna, têm configuração eletrônica semelhante para os elétrons situados no último nível de energia (elétrons de valência).

Cabe observar, como é perceptível na análise em questão a forma resumida como as contribuições dos cientistas são tratadas nos demais LDQ, nos quais não são aprofundados nos conteúdos sobre como essas contribuições foram se completando ao longo do tempo na história da ciência e na confirmação de suas teorias. A ausência de tal abordagem pode prejudicar o entendimento do aluno quando se depara com situações nas quais precisa diferenciar e assimilar essas contribuições na história da química.

Avançando na apresentação dos resultados de nossa pesquisa nos LDQ, é apresentado o Quadro 14 - Análise do ponto f) “O livro aborda ligações químicas e ao abordar, cita ou informa alguma referência ao Cientista Linus Pauling?”

Quadro 14 - Análise do ponto f) “O livro aborda ligações químicas e ao abordar, cita ou informa alguma referência ao Cientista Linus Pauling?” nas sete obras do PNL D 2021

Código	Sim	Não
LDQ A	Aborda págs. 79 até 82.	Não cita/informa sobre o Cientista Linus Pauling.
LDQ B	Aborda págs. 37 e 38.	Não cita/informa sobre o Cientista Linus Pauling.
LDQ C	Aborda págs. 62 e 63.	Não cita/informa sobre o Cientista Linus Pauling.
LDQ D	Págs. 44 e 45.	
LDQ E	Págs. 107, 109 e 111, abordam ligações químicas.	Não cita/informa sobre o Cientista Linus Pauling.
LDQ F	Págs. 106 e 111.	Não cita/informa sobre o Cientista Linus Pauling.
LDQ G	Págs. 69 até 72. O cientista Linus Pauling é citado na pág. 106, em um estudo de caso sobre ligações químicas e a vitamina C.	

Fonte: Elaborado pelo autor (2025).

Encontramos apenas no LDQ G uma citação para o Cientista Linus Pauling sobre ligações químicas, o qual se trata de um estudo de caso, explorando o uso da vitamina C, porém, não revelando ou orientando sobre os estudos do cientista sobre as ligações químicas. A Teoria das Ligações de Valência, desenvolvida por Pauling, expandiu e aprimorou a Teoria do Octeto de Lewis, fornecendo uma explicação mais detalhada sobre a formação de ligações químicas e a geometria das moléculas. Esta teoria é amplamente utilizada até hoje para prever a estrutura das moléculas. Foi Pauling quem propôs a teoria da hibridação como um mecanismo que justifica a distribuição dos elétrons de valência, sejam tetraédricos, planos, lineares ou triangulares.

Importante destacar que a história da ciência desempenha um papel crucial na contextualização do ensino de Ciências da Natureza, pois enriquece a compreensão dos conceitos científicos e do próprio processo de produção do conhecimento. Ao integrar a história da ciência no livro didático é possível tornar o aprendizado mais atraente, motivador e relevante para os alunos, além de desenvolver o pensamento crítico e uma visão mais completa da ciência.

Concluimos, portanto, por uma necessidade de maior aproximação entre o ensino de química e a história das ligações químicas, de modo a produzir um ensino mais significativo e esclarecedor, tanto quanto aos conceitos, como quanto à atividade científica.

Principalmente com o exemplo do Cientista Linus Pauling, esquecido pelos LDQ no que se refere ao estudo sobre a apresentação das ligações químicas, conforme foi demonstrado no Quadro 14 - Análise do ponto f) “O livro aborda ligações químicas e ao abordar, cita ou informa alguma referência ao Cientista Linus Pauling?”, acima.

Para avaliar a abordagem sobre a eletronegatividade e sua referência ao Cientista Linus Pauling, conferimos os resultados no Quadro 15 - Análise do ponto g) “O livro aborda sobre a eletronegatividade e ao abordar, cita ou informa alguma referência ao Cientista Linus Pauling?”.

Quadro 15 - Análise do ponto g) “O livro aborda sobre a eletronegatividade e ao abordar, cita ou informa alguma referência ao Cientista Linus Pauling?” nas sete obras do PNLD 2021

Código	Sim	Não
LDQ A	Aborda pág. 76, apresentando a tabela com valores de eletronegatividade de alguns elementos químicos.	Não cita/informa sobre o Cientista Linus Pauling.
LDQ B	X	Não cita/informa sobre o Cientista Linus Pauling.
LDQ C	X	Não cita/informa sobre o Cientista Linus Pauling.
LDQ D	X	Não cita/informa sobre o Cientista Linus Pauling.
LDQ E	Pág. 106. Inclusive com nota sobre sua obra: Pauling, L. The Nature of Chemical Bond, Ithaca: Cornell University Press, 1960.	
LDQ F	X	Não cita/informa sobre o Cientista Linus Pauling.
LDQ G	Pág. 75.	

Fonte: Elaborado pelo autor (2025).

Observa-se, assim no LDQ A, a presença de uma tabela com alguns elementos químicos, mas a obra não cita ou informa referencial histórico sobre o cientista Linus Pauling. Como já mencionado anteriormente, o LDQ E, aborda a eletronegatividade e indica o Cientista Linus Pauling, propiciando ao aluno/leitor uma fonte para futura pesquisa e complementação de informações sobre tal tema, o que se acredita neste caso, ser o mais indicado para professores que desejem fazer tal abordagem do tema, pois a História da Ciência pode ser uma ferramenta valiosa para facilitar o ensino de Química no ensino médio, tornando-o mais interessante e compreensível para os alunos. Ao contextualizar o desenvolvimento da química a partir de seu contexto histórico,

os alunos podem entender melhor como as teorias e os conceitos foram construídos, quais foram os desafios enfrentados pelos cientistas e como a ciência evoluiu ao longo do tempo.

O LDQ G apresenta um texto explicativo sobre a eletronegatividade e as ligações químicas, citando o Cientista Linus Pauling, o que se revela como uma raridade nos LDQ pesquisados, mas a obra não informa ao aluno/leitor a existência de uma tabela de eletronegatividade o que poderia facilitar o estudo e a compreensão sobre o tema.

Já os LDQ B, LDQ C, LDQ D e o LDQ F não desenvolveram este tema de eletronegatividade, e não citaram ou informaram algo sobre o cientista Linus Pauling e sua contribuição para o estudo da eletronegatividade.

Cabe destacar que o cientista Linus Pauling revolucionou o ensino de química ao introduzir e popularizar o conceito de eletronegatividade, um parâmetro fundamental para entender a natureza das ligações químicas e a polaridade das moléculas. Sua escala de eletronegatividade, baseada na energia de ligação, permitiu prever a natureza das ligações químicas e a distribuição de carga em moléculas. A eletronegatividade desenvolvida por Pauling é uma ferramenta essencial em diversas áreas da química, incluindo química orgânica, inorgânica e bioquímica.

No ensino médio o assunto que trata da estrutura atômica e das características energéticas dos elétrons é notoriamente desafiador para ser ensinado. A imensa dificuldade surge do fato de que as leis que regem a estrutura atômica são aquelas da mecânica quântica, a qual utiliza de recursos matemáticos complexos e de conceituação própria e intrincada (Bianco; Meloni, 2019).

Não obstante, o tema complexo da energia dos elétrons não pode ser simplesmente deixado de lado e excluído dos conteúdos programáticos do ensino médio, uma vez que ele dá suporte a outros conteúdos importantes em química, tal como o estudo da Tabela Periódica e suas propriedades, Ligações Químicas e Eletronegatividade, dentre outros temas transversais dentro das ciências naturais. Tais temas podem ser contextualizados e relacionados à vida cotidiana, sendo potenciais espaços de aprendizagem de competências e habilidades do estudante do ensino médio.

Nos LDQ aprovados no PNLEM de 2021, dando sequência em nosso trabalho, elaboramos o Quadro 16 - Análise do ponto h) “O livro aborda, cita ou informa a possibilidade de existir outros diagramas de organização (distribuição eletrônica) elementar?” a seguir:

Quadro 16 - Análise do ponto h) “O livro aborda, cita ou informa a possibilidade de existir outros diagramas de organização (distribuição eletrônica) elementar?” nas sete obras do PNLD 2021

Código	Sim	Não
LDQ A		X
LDQ B	Pág.33.	
LDQ C		X
LDQ D		X
LDQ E		X
LDQ F		Mas, associa as diferentes regiões da tabela periódica, de acordo com o último subnível preenchido por ocasião da distribuição eletrônica.
LDQ G		X

Fonte: Elaborado pelo autor (2025).

Encontramos duas anotações no LDQ B, na página 33, onde consideramos outra possibilidade de distribuição eletrônica, a qual, particularmente, na apresentação deste conteúdo ao aluno iniciante no estudo de distribuição eletrônica, pode acarretar muitas dificuldades, uma vez que deve ser seguida a sequência de preenchimento das camadas eletrônicas partindo do núcleo (K, L, M, ...), lembrando que cada camada comporta um número máximo de elétrons (a camada K, 2 elétrons; a L, 8; a M, 18; a N, 32; a O, 32; a P, 18; e a Q, 8).

Não colocando mais que 8 elétrons na última camada; e ainda se o número de elétrons (n) a ser colocado for tal que 18 menor que n , e n maior que 8, basta subtrair 8, passando o que resta para a outra camada.

Lembrando, ainda se ocorrer um número de elétrons (n) tal que 32 menor que n , e n maior que 18, subtraia de n 18 elétrons e passe o que resta para a camada seguinte.

Nesta mesma página, há apenas um exemplo, o que dificulta totalmente a compreensão do tema, distribuição eletrônica. No LDQ F é importante ressaltar a interessante apresentação ao aluno/leitor da distribuição eletrônica, da tabela

periódica e dos elétrons de valência, aspectos inter-relacionados e importantes na aprendizagem destes conteúdos.

No mesmo LDQ, destacamos, também, uma abordagem diferenciada, a qual traz figuras demonstrativas da tabela periódica, como na página 125 na figura 7.22 do referido livro, a qual apresenta as diferentes regiões da tabela periódica, de acordo com o último subnível preenchido por ocasião da distribuição eletrônica. Tal recurso se mostrou um fato raro nesta pesquisa, mas o que se considera muito produtivo para como um recurso visual para a aprendizagem destes conteúdos no ensino de química no primeiro ano do ensino médio.

Os LDQ A, LDQ C, LDQ D, LDQ E e LDQ G não abordam ou citam/informam a possibilidade de existir outros diagramas de organização (distribuição eletrônica) elementar.

O ensino e a aprendizagem de conceitos da química seguem desafiando pesquisadores e professores em busca de abordagens metodológicas efetivas, a fim de garantir uma aprendizagem significativa aos estudantes, pois temos na química o diferencial da abordagem no nível macroscópico, microscópico e submicroscópico.

Aqui neste ponto de análise, que consideramos muito relevante, ou seja, a possibilidade de apresentar ao aluno/leitor a possibilidade de existir outros diagramas de organização (distribuição eletrônica) elementar, observamos o continuísmo dos LDQ analisados, pois apesar de haver muitas referências, ainda não se observa a informação dos mesmos, e creio que este tema deva ser mais estudado, com relação ao preparo dos futuros docentes no ensino de Química, quanto ao conhecimento/aplicação diagramas alternativos para facilitar a aprendizagem da distribuição eletrônica.

Historicamente como citado em linhas anteriores, Madelung (1936) desenvolveu um método simples no qual a energia dos elétrons é determinada pela soma do número quântico principal (n) e do número quântico secundário (l), que descrevem os orbitais que contém os elétrons. Com extensos cálculos matemáticos, criando uma tabela para compreensão. A regra de Madelung foi rapidamente incorporada em livros didáticos de química, nos quais a soma dos dois números quânticos se tornou implícita e os orbitais são dispostos em um diagrama de ordem crescente de energia, denominado diagrama de *Aufbau* (Bianco; Meloni, 2019).

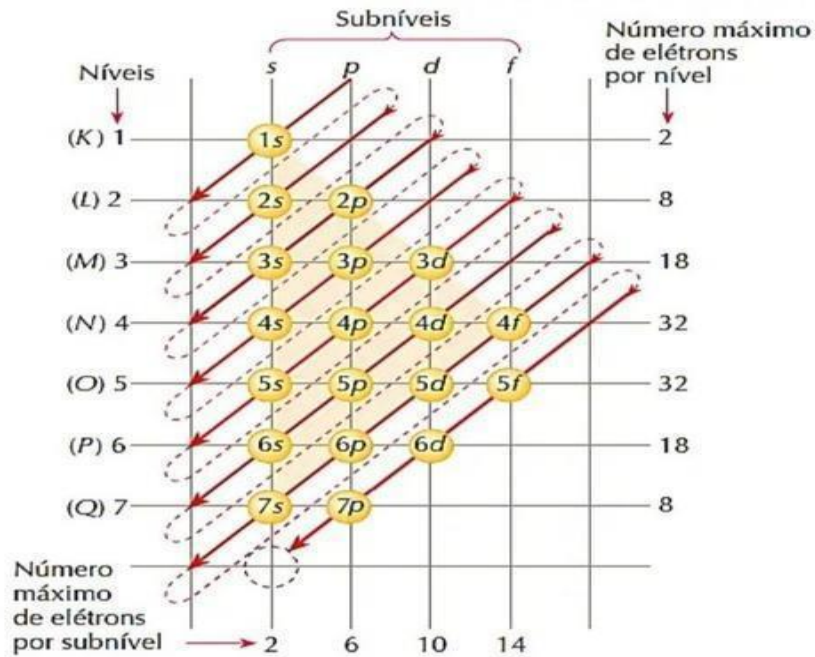
Contudo, no Brasil, o diagrama integra, os livros didáticos ainda hoje, conforme o Quadro 12, e são reconhecidos pelo nome de “Diagrama de Linus Pauling”, em homenagem ao Cientista Linus Pauling, e que consta em seu livro “The Nature of the Chemical Bond” (Pauling, 1939 *apud* Bianco; Meloni, 2019).

Mas existem trabalhos, como os de Grenda (1988), Iza e Gil (1995) e Parsons (1989), os quais propuseram diagramas de distribuição eletrônica alternativos ao diagrama de Linus Pauling que, segundo os autores, podem ser memorizados e utilizados de modo mais simples e rápido pelos estudantes.

Relembramos que para o ensino deste conteúdo de Química, existe uma grande complexidade teórica dos conceitos quânticos para o estudo da distribuição eletrônica, a fim de que os discentes do primeiro ano do ensino médio possam dispor os elétrons em ordem crescente de energia dos orbitais atômicos. E para auxiliá-los, dispositivos mnemônicos podem ser auxiliares e facilitadores na compreensão de tal temática.

As figuras 6, 7, 8 e 9, apresentadas na sequência, mostram algumas alternativas de representações.

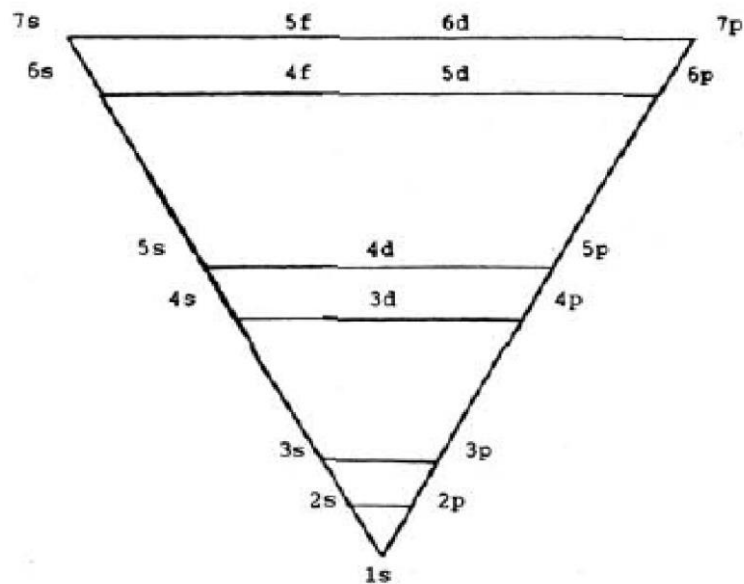
Figura 6 – É referida em livros didáticos publicados no Brasil como “Diagrama de Linus Pauling”.



Fonte:

<https://3.bp.blogspot.com/NgH1OAJhWUo/UDOsZzoCu8I/AAAAAAAAADg/ms007yQik70/s1600/Linus+Pauling.pn>

Figura 7 - Diagrama de distribuição eletrônica proposto por Grenda.



Fonte: <https://editorarealize.com.br/artigo/visualizar/59128>.

Figura 8 - Esquema mnemônico proposto por Iza e Gil.

s, sp, sp, sdp, sdp, sfdp, sfdp

Fonte: <https://editorarealize.com.br/artigo/visualizar/59128>.

Figura 9 - Diagrama de distribuição eletrônica proposto por Parsons.

			1s
			2s
		2p	3s
		3p	4s
	3d	4p	5s
	4d	5p	6s
4f	5d	6p	7s
5f	6d	7p	8s

Fonte: <https://editorarealize.com.br/artigo/visualizar/59128>

Mastropiere e Scruggs (1989) indicam que os recursos mnemônicos podem facilitar com que novos conhecimentos possam ser assimilados utilizando esquemas cognitivos já desenvolvidos.

Grenda (1988) propôs um diagrama de distribuição eletrônica alternativo no qual são desenhados triângulos invertidos. Na lateral esquerda estão escritos os orbitais s e na direita os orbitais p. Os orbitais d são escritos a partir da terceira linha de baixo para cima e os orbitais 4f e 5f apenas nas duas últimas. Segue-se então a distribuição eletrônica dos elementos de baixo para cima, da esquerda para a direita.

Iza e Gil (1995) propuseram um diagrama mnemônico de distribuição onde os orbitais são escritos de um modo compacto em linha reta. Nele os orbitais são unidos em sete grupos separados por vírgulas. Os orbitais do tipo s e p terão o número quântico principal indicado pelo grupo que eles estão

inseridos. Para exemplificar, um orbital do tipo s no sexto grupo será um orbital 6s e um orbital do tipo p no quarto grupo será um orbital 4p. Os orbitais do tipo d terão o número quântico principal dado pelo número do grupo menos um ($n-1$), assim um orbital do tipo d no quarto grupo será um orbital 3d. Orbitais do tipo f terão seu número quântico principal dado pelo número do grupo menos dois ($n-2$). Assim um orbital do tipo f no sétimo grupo, será um orbital 5f.

Parsons (1989) propôs um diagrama de distribuição eletrônica similar ao diagrama de Linus Pauling, sendo que a posição e o espaçamento dos orbitais é diferenciado, permitindo a distribuição sem a necessidade do uso de diagonais, apenas escrevendo os orbitais da esquerda para a direita.

Tais modelos devem ser estudados e apresentados aos futuros docentes, pois como futuro docente, desconhecia tais alternativas, mas acreditamos que a maior divulgação e exploração do tema poderá facilitar o estudo e as aulas de distribuição eletrônica, e que possamos encontrar no LDQ, a introdução destes modelos e amenizar as dificuldades dos estudantes, pois a Química é vista como uma disciplina complexa por diversos fatores, incluindo o uso intenso de cálculos matemáticos, conteúdos abstratos, metodologias tradicionais e falta de contextualização, o que gera desinteresse e dificuldades para a assimilação dos conteúdos pelos alunos do primeiro ano do ensino médio.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Em 2017, com a reforma do Ensino Médio, os Livros Didáticos de Química deixaram de ser comprados para o PNLD, que atualmente disponibiliza para as escolas da Educação Básica livros de Ciências da Natureza e suas Tecnologias, nos quais há uma parte referente à Química. Frente a essa realidade, ao se iniciar a pesquisa, decidiu-se analisar em livros didáticos de Química do PNLEM de 2021 como são abordados os temas: produção científica e história do cientista Linus Pauling e sua contribuição para o estudo da distribuição eletrônica, ligações químicas e eletronegatividade.

Foram analisadas as sete coleções de livros didáticos para o Ensino Médio aprovadas pelo PNLEM/2021, para a área do conhecimento de Ciências da Natureza e suas Tecnologias, para o primeiro ano do ensino médio no referencial para o ensino de química.

Linus Carl Pauling (1901-1994), único cientista a receber individualmente dois prêmios Nobel - Química em 1954 e da Paz em 1962 - representa uma das figuras mais influentes da química moderna. Suas contribuições científicas revolucionaram o entendimento das ligações químicas, estrutura molecular e propriedades dos materiais, estabelecendo fundamentos teóricos que permeiam o ensino de química até os dias atuais. No entanto, paradoxalmente, sua presença na dimensão histórica dos livros didáticos brasileiros permanece limitada e fragmentada.

Foi possível constatar nesta pesquisa que a contribuição do cientista Linus Pauling é pouco referida, quando apenas somente citada e com raríssima exceção no LDQ E, o qual aborda sobre a eletronegatividade.

Além de não apresentar nada de novo, como a possibilidade de existir outros diagramas de organização (distribuição eletrônica) elementar, nem ao menos citar/informar a possibilidade destes diagramas existirem, ocorrendo na maioria dos LDQ a utilização apenas do diagrama de Linus Pauling.

Uma dimensão frequentemente negligenciada nos LDQ é o ativismo social de Pauling. Ele era ativista social, com posição moral muito forte, tomando riscos que muitos de seus colegas não tomavam. Esta faceta de sua personalidade poderia contribuir para uma visão mais humanizada da ciência,

mostrando aos estudantes que os cientistas são cidadãos engajados com as questões de seu tempo.

O exemplo de Pauling como cientista-cidadão poderia inspirar estudantes a perceberem conexões entre conhecimento científico e responsabilidade social, aspecto fundamental na formação de cidadãos críticos e conscientes.

As contribuições de Linus Pauling para a química são inegavelmente fundamentais para o ensino médio, fornecendo ferramentas conceituais que permitem aos estudantes compreender a estrutura da matéria e suas transformações.

No entanto, a limitada presença da dimensão histórica de suas contribuições nos livros didáticos representa uma oportunidade perdida de enriquecimento do ensino. A contextualização histórica não apenas humaniza a ciência, mas também contribui para uma compreensão mais profunda dos processos de construção do conhecimento científico.

Pesquisadores em educação no ensino de química observaram que os livros escolares frequentemente apresentam a ciência como algo “pronto e acabado”, sem mostrar o processo histórico que levou à descoberta dos conceitos (Mortimer; Amaral, 2000; Ferreira; Martins, 2011). Com isso, cientistas como Pauling acabam “sumindo” da narrativa, mesmo tendo papel fundamental na construção do conhecimento.

Linus Pauling deixou um legado imenso para a química e para a ciência de forma geral. Ele nos deu ferramentas essenciais para compreender a matéria, as ligações químicas e as propriedades dos elementos — conteúdos centrais no ensino médio. Valorizar sua contribuição e trazê-la para o contexto escolar é um passo importante para tornar o ensino mais significativo, histórico e conectado com a construção real do conhecimento científico.

A superação desta limitação requer um esforço consciente de editores, autores e professores no sentido de valorizar a história da ciência, não como mero adorno pedagógico, mas como componente essencial de uma educação científica integral. Somente assim será possível formar estudantes capazes de compreender a ciência não apenas como um conjunto de conhecimentos, mas como uma atividade humana complexa, dinâmica e socialmente situada.

7 REFERÊNCIAS

AIKAWA, A. T., & MORAES, R. O. (2003). **A História da Ciência no Ensino de Química: Possibilidades a partir de Livros Didáticos**. Química Nova na Escola, 17, 12–19.

AMABIS, J. M.; MARTHO, G. R.; FERRARO, N. G.; PENTEADO, P. C. M.; TORRES, C. M. A.; SOARES, J.; CANTO, E. L.; LEITE, L. C. C. **Moderna plus: ciências da natureza e suas tecnologias**.⁵ Obra em 6 vol. 1. ed. São Paulo: Moderna, 2020. Disponível em: <https://www.calameo.com/read/00289932795e921879f04>. Acesso em: 16 jun. 2023.

AMERICAN CHEMICAL SOCIETY. **National Historic Chemical Landmarks: Linus Pauling and the Nature of the Chemical Bond**. Washington, DC: ACS, 2000.

BIANCO, A. A. G.; MELONI, R. A. **O conhecimento escolar: um estudo do tema diagrama de Linus Pauling em livros didáticos de Química - 1960/1970**. Química Nova na Escola, v. 41, n. 2, p. 148-155, 2019. Disponível em: https://qnesc.sbq.org.br/online/qnesc41_2/06-CCD-58-18.pdf. Acesso em: 18 set. 2023.

BRASIL. **Decreto nº 9.099, de 18 de julho de 2017. Dispõe sobre o Programa Nacional do Livro e do Material Didático**. Brasília: Presidência da República, 2017 a. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2015-2018/2017/decreto/d9099.htm. Acesso em: 18 set. 2024.

BRASIL. **LDB: Lei de diretrizes e bases da educação nacional**. 2. ed. Brasília: Senado Federal, Coordenação de Edições Técnicas, 2018 b. LEI Nº 9.394, DE 20 DE DEZEMBRO DE 1996. Disponível em: <https://www2.camara.leg.br/legin/fed/lei/1996/lei-9394-20-dezembro-1996-362578-publicacaooriginal-1-pl.html>. Acesso em: 23 ago. 2024.

BRASIL. **Lei nº 13.415**, de 16 de fevereiro de 2017. Altera as Leis nº 9.394, de 20 de dezembro de 1996, que estabelece as diretrizes e bases da educação nacional, e 11.494, de 20 de junho 2007, que regulamenta o Fundo de Manutenção e Desenvolvimento da Educação Básica e de Valorização dos Profissionais da Educação, a Consolidação das Leis do Trabalho - CLT, aprovada pelo Decreto-Lei nº 5.452, de 1º de maio de 1943, e o Decreto-Lei nº 236, de 28 de fevereiro de 1967; revoga a Lei nº 11.161, de 5 de agosto de 2005; e institui a Política de Fomento à Implementação de Escolas de Ensino Médio em Tempo Integral. Brasília: Presidência da República, 2017. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2015-2018/2017/lei/l13415.htm. Acesso em: 18 set. 2024.

BRASIL. **Ministério da Educação. Base Nacional Comum Curricular – BNCC**. Ensino Médio. Brasília, 2018 a.

Disponível em: <https://www.gov.br/mec/pt-br/cne/bncc-2013-ensino-medio>.
Acesso em: 23 ago. 2024.

CAMERON, Ewan; PAULING, Linus. **Cancer and Vitamin C**. New York: ed. W. W. Norton & Co., 1979.

CARVALHO, Cristiano. **A história da indução eletromagnética contada em livros didáticos de física. Dissertação de Mestrado em Educação**. Universidade Federal do Paraná, 2007.

CHASSOT, A. **Alfabetização científica: uma possibilidade para a inclusão social**. Revista Brasileira de Educação, n. 22, p. 89-100, 2003. Disponível em: https://educa.fcc.org.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=s1413-2478200300100009. Acesso: 23 ago. 2024.

CONIF - Conselho Nacional das Instituições da Rede Federal. **Nota técnica sobre o PNLD 2021**. (03 ago. 2021). Disponível: <https://portal.conif.org.br/geral/conif-emite-nota-tecnica-sobre-o-pnld-2021>. Acesso em: 16 set. 2023.

FERREIRA, P. F., & MARTINS, I. P. (2011). **A História da Ciência no Ensino Médio: A presença de cientistas nos livros didáticos de química**. Revista de Ensino de Ciências e Matemática, 2(2), 88–99.

FOSSÁ, M. I. T. **Proposição de um constructo para análise da cultura de devoção nas empresas familiares e visionárias**. Tese (Doutorado em Administração). Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2003.

FUKUI, A.; NERY, A. L.; CARVALHO, E. G.; AGUILAR, J. B.; LIEGEL, R. M.; AOKI, V. L. M.; ZAMBONI, A.; BEZERRA, L. M. **Ser protagonista: ciências da natureza e suas tecnologias**.⁷ Obra em 6 vol. 1. ed. São Paulo: Edições SM, 2020. Disponível em: <https://lppnld.smeducacao.com.br/ser-protagonista-ciencias-da-natureza-e-suas-tecnologias/>. Acesso em: 16 jun. 2023.

GAROFALO, A. **Housing Electrons: Relating Quantum Numbers, Energy Levels, and Electron Configurations**. *Journal of Chemical Education*, v. 74, n. 6, p. 709-710, 1997. Disponível em: <https://pubs.acs.org/doi/abs/10.1021/ed074p1522>. Acesso em: 16 jun. 2023.

GIL, Antonio Carlos. **Como elaborar projetos de pesquisa**. 4. ed. São Paulo: Atlas, 2009.

GODOY, L. P.; DELL'AGNOLO, R. M.; MELO, W. C. **Multiversos: ciências da natureza**.¹ Obra em 6 vol. 1. ed. São Paulo: Editora FTD, 2020. Disponível em: <https://s3.amazonaws.com/pnld.ftd.com.br/wp-content/uploads/2021/08/06160615/0221P21203133-multiversos-cie-nat-lcs-vol1-manual-001-288-pnld-2021.pdf>. Acesso em: 16 jun. 2023.

GRENDA, S. C. **A simple mnemonic device for electron configuration.** Journal of Chemical Education, Mnemônico de Grenda, baseada num triângulo invertido, v. 65, n. 8, p. 697, 1988. Disponível em: https://www.editorarealize.com.br/editora/anais/conedu/2019/TRABALHO_EV1_27_MD1_SA16_ID6186_25092019055523.pdf. Acesso em: 16 jun. 2023.

GUIMARÃES, O. M., AIRES, J. A., CASTRO, L. **Modelos atômicos nos Livros Didáticos de Química: Obstáculos à Aprendizagem?** In: ENCONTRO NACIONAL DE PESQUISA EM EDUCAÇÃO EM CIÊNCIAS, 7. 2009, Florianópolis. *Anais*. Santa Catarina: ENPEC, 2009. p. 1-9.

HAZLEHURST, T. H. **Quantum numbers and the periodic table.** Journal of Chemical Education, v. 18, n. 12, p. 580-581, 1941.

HÖFLING, Eloisa de Mattos. **Notas para discussão quanto à implementação de programas de governo: em foco o Programa Nacional do Livro Didático.** Educação & Sociedade, v. 21, n. 70, p. 159-170, 2000. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0101-7330200000100009. Acesso em: 23 jun. 2023.

HOVLAND, A. K. **Aufbau on a Chessboard.** Journal of Chemical Education, v. 63, n. 7, p. 607, 1986.

IZA, N.; GIL, M. **A mnemonic method for assigning the electronic configurations of atoms.** Journal of Chemical Education, Mnemônico diagramado em linha, v. 72, n. 11, p. 1025–1026, 1995. Disponível em: <https://www.proquest.com/scholarly-journals/mnemonic-method-assigning-electronic/docview/212013700/se-2>. Acesso em: 23 ago. 2024.

KURUSHKIN, M. **Teaching Atomic Structure: Madelung's and Hund's Rules in One Chart.** Journal of Chemical Education, v. 92, n. 6, p. 1127-1129, 2015. Disponível em: <https://pubs.acs.org/doi/10.1021/ed5009409>. Acesso em: 23 ago. 2024.

LEITE, Fabiana Calçada de Lamare **Metodologia da pesquisa científica** / Fabiana Calçada de Lamare Leite, André Dala Possa. – 2. ed. rev. Florianópolis: IFSC, 2013.

LOGUERCIO, R. Q.; SAMRSLA, V. E. E.; DELPINO, J. C. **A Dinâmica de Analisar Livros Didáticos com os Professores de Química.** Química Nova, v. 24, n. 4, p. 557-562, 2001.

LOPES, A. R. C.; **Livros Didáticos: Obstáculos ao Aprendizado da Química**; Dissertação de Mestrado; IESAE; Rio de Janeiro, 1990.

LOPES, C. V. M. **Modelos atômicos no início do século XX: da física clássica à introdução da teoria quântica.** Tese (Doutorado em História da Ciência) - Pontifícia Universidade Católica, São Paulo, 2009.

LOPES, S.; ROSSO, S.; CARNEVALLE, M. R. **Ciências da natureza: Lopes & Rosso**.⁴ Obra em 6 vol. 1. ed. São Paulo: Moderna, 2020. Disponível em: <https://pnld.moderna.com.br/ensino-medio/obras-didaticas/area-de-conhecimento/ciencias-da-natureza/lopes-rosso>. Acesso em: 17 jun. 2023.

LÜDKE, M.; ANDRÉ, M. E. D. A. **Pesquisa em educação: Abordagens Qualitativas**. 2. ed. Rio de Janeiro: E.P.U., 2018.
MAIA, J. O.; SÁ, L. P.; MASSENA, E. P.; WARTHA, E. J. **O Livro Didático de Química nas Concepções de Professores do Ensino Médio da Região Sul da Bahia**. Química Nova na Escola, [S.l.], v. 33, n. 2, p. 115–124, 2011.

MALDANER, O. A. **Ensino de Química em Foco**, p. 159-180, 2018.

MASTROPIERI, M. A.; SCRUGGS, T. E. **Mnemonic Social Studies Instruction: Classroom Applications**. Remedial and Special Education, v. 10, n. 3, p. 40–46, 1989. Disponível em: <https://api.semanticscholar.org/CorpusID:143651417>. Acesso em: 12 mar. 2024.

MENDONÇA, P. C. C., SANTOS, C. G., SILVA, C. M. **Análise da História da Ciência em livros didáticos de Química aprovados no PNLD 2012**. In: ENCONTRO NACIONAL DE PESQUISA EM EDUCAÇÃO EM CIÊNCIAS, 9. Águas de Lindóia. Anais. São Paulo: ENPEC 2013. p. 1-8.

MICHEL, Maria Helena. **Metodologia e pesquisa científica em ciências sociais: um guia prático para acompanhamento da disciplina e elaboração de trabalhos monográficos**. São Paulo: Atlas, 2005.

MORTIMER, E. F., & AMARAL, R. M. R. (2000). **A construção do conhecimento científico: uma análise da perspectiva dos livros didáticos de química do ensino médio**. Química Nova na Escola, 12, 23–29.

MORTIMER E.; HORTA, A.; MATEUS, A.; PANZERA, A.; GARCIA, E.; PIMENTA, M.; MUNFORD, D.; FRANCO, L. MATOS, S. **Matéria, energia e vida: uma abordagem interdisciplinar**.⁶ Obra em 6 vol. 1. ed. São Paulo: Scipione, 2020. Disponível em: <https://www.edocente.com.br/pnld/materia-energia-e-vida-o-mundo-atual/>. Acesso em: 17 jun. 2023.

NOBEL FOUNDATION. **The Nobel Prize in Chemistry 1954 – Linus Pauling: Presentation Speech**. Stockholm: Nobel Foundation, 1954. Disponível em: <https://www.nobelprize.org/>. Acesso em: 28 jun. 2023.

NOBEL FOUNDATION. **The Nobel Peace Prize 1962 – Linus Pauling: Bio & Motivation**. Stockholm: Nobel Foundation, 1962. Disponível em: <https://www.nobelprize.org/>. Acesso em: 28 jun. 2023.

OREGON STATE UNIVERSITY. Linus Pauling Institute. **Linus Pauling Biography**. Disponível em: <http://lpi.oregonstate.edu/about/linus-pauling-biography>. Acesso em: 06 ago. 2023.

OREGON STATE UNIVERSITY. Corvallis: **Oregon State University (OSU), 1925-1954**. Disponível em: <https://scarc.library.oregonstate.edu/>. Acesso em: 06 ago. 2023.

PARSONS, R. W. **A new mnemonic scheme for applying the aufbau principle**. Journal of Chemical Education, Artigo Original de Divulgação do Mnemônico, v. 66, n. 4, p. 319, 1989. Disponível em: <https://pubs.acs.org/doi/abs/10.1021/ed066p319>. Acesso em: 06 ago. 2023.

PAULING, Linus. **Biografia de Linus Carl Pauling**. Instituto de História da Ciência. Filadélfia. Disponível em: <https://digital.sciencehistory.org/>. Acesso em: 16 ago. 2023.

PAULING, Linus. **How to Live Longer and Feel Better**. New York: W. H. Freeman, 1986.

PAULING, Linus. **Molecular structure of proteins**. Proceedings of the National Academy of Sciences, v. 37, n. 4, p. 205–211, 1951.

PAULING, Linus. **Química Geral**. Rio de Janeiro: Técnicos e Científicos, 1982.

PAULING, Linus. **The Nature of the Chemical Bond and the Structure of Molecules and Crystals: An Introduction to Modern Structural Chemistry**. 3. ed. Ithaca: Cornell University Press, 1960.

PAULING, Linus. **Vitamin C and the Common Cold**. San Francisco: W. H. Freeman, 1970.

PEREIRA, Walysson Gomes *et al.* **Apresentação de metodologias alternativas para o ensino da distribuição eletrônica no átomo**. Anais VI CONEDU. Campina Grande: Realize Editora, 2019. Disponível em: <https://editorarealize.com.br/artigo/visualizar/59128>. Acesso em: 08 mar. 2025.

PORTO, P.A. **História e Filosofia da Ciência no Ensino de Química: em busca dos objetivos educacionais da atualidade**. In: SANTOS W. L. P.; MALDANER O. A.; PFL MACHADO P.F.L. (Org.). *Ensino de Química em Foco*, 2ª. Ed. revisada e ampliada. Ijuí, RS: Editora UNIJUÍ, 2019, p. 141-156. Disponível em: <https://www.iq.usp.br/portaliqusp/?q=en/users/paulo-alves-porto>. Acesso em: 08 mar. 2025.

POZO, Juan Ignacio; CRESPO, María Pilar. **A aprendizagem e o ensino de ciências: do conhecimento cotidiano ao conhecimento científico**. Porto Alegre: Artmed, 2009.

SALEHZADEH, S.; MALEKI, F. **The 4s and 3d subshells: Which one fills first in progressing through the periodic table and which one fills first in any particular atom?** Foundations of Chemistry, v. 18, p. 57- 65, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s10698-016-9249-0>. Acesso em: 16 maio 2023.

SANTOS, Jackson da Silva. **Análise sobre diferentes abordagens de configuração eletrônica de elementos apresentados em livros de química.** 2011. 100 f. Dissertação (Mestrado em Físico-Química; Química) - Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2011. Disponível em: <https://repositorio.ufrn.br/jspui/handle/123456789/17658> Acesso em: 21 fev. 2023.

SANTOS, K. C. **Diálogo: ciências da natureza e suas tecnologias.**³ Obra em 6 vol. 1. ed. São Paulo: Moderna, 2020. Disponível em: https://pnld.moderna.com.br/wpcontent/uploads/2021/05/fp_0196p21203_1_mp_pdf_carac.pdf. Acesso em: 21 ago. 2023.

SCERRI, E. R. **Happy 150th birthday to the periodic table.** CHEMISTRY: A European Journal, v. 25, p. 1-7, 2019. Disponível em: <https://chemistry-europe.onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/chem.201900460>. Acesso em: 17 jun. 2023.

SCHNETZLER, R. P.; **Química Nova** 1981, 4, 6. Completa.

SCHWARZ, W. H. E. **The Full Story of the Electron Configurations of the Transition Elements.** Journal of Chemical Education, v. 87, n. 4, p. 444-448, 2010. Disponível em: <https://pubs.acs.org/toc/jceda8/87/4>. Acesso em: 17 jun. 2023.

SILVA, A. L. P.; VARELA JÚNIOR, J. de J. G.; SÁ-SILVA, J. R.; COSTA, H. R. **Configuração eletrônica nos livros didáticos de química do PNLD 2018-2020: Um estudo histórico-conceitual.** VIDYA, Santa Maria (RS, Brasil), v. 41, n. 1, p. 163–183, 2021. DOI: 10.37781/vidya.v41i1.3720. Disponível em: <https://periodicos.ufrn.edu.br/index.php/VIDYA/article/view/3720>. Acesso em: 17 jun. 2023.

SPIASSI, A.; SILVA, E.M. **Análise de livros didáticos de ciências: um estudo de caso.** Revista Trama, v. 4, n. 7, p. 45 – 54, 2008. Disponível em: <http://saber.unioeste.br/index.php/trama/article/view/2413>. Acesso em: 25 set. 2023.

THOMPSON, M.; RIOS, E. P.; SPINELLI, W.; REIS, H.; SANT'ANNA, B.; NOVAIS, V. L. D.; ANTUNES, M. T. **Conexões: ciências da natureza e suas tecnologias.**² Obra em 6 vol. 1. ed. São Paulo: Moderna, 2020. Disponível em: <https://www.calameo.com/read/00289932795e921879f04>. Acesso em: 17 jun. 2023.

TORRES SANTOMÉ, Jurjo. **El curriculum oculto.** Madrid: Morata, 1991. Disponível em: <https://tendenciascurriculares.wordpress.com/wp-content/uploads/2013/04/currc3adculo-oculto1.pdf>. Acesso em: 17 jun. 2023.

TRINDADE, L. S.; RODRIGUES, S. P.; SAITO, F.; BELTRAN, M. H. R. **História da Ciência e Ensino: Algumas características.** In: BELTRAN, M. H. R.; SAITO, F.; TRINDADE, L. S. (Orgs.) **História da Ciência: Tópicos Atuais.** São Paulo: Livraria da Física - Capes 2010. p.119-132.