

UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA
INSTITUTO DE CIÊNCIAS EXATAS E NATURAIS DO PONTAL
CURSO DE GRADUAÇÃO EM QUÍMICA
Rua Vinte, 1600. Bairro Tupã. CEP 38304-402, Ituiutaba / MG

JUSCELINO PEREIRA DA SILVA

**A ABORDAGEM DA REGRA DO OCTETO NOS LIVROS DIDÁTICOS
DE QUÍMICA APROVADOS NO PNLD 2018**

ITUIUTABA
2018

JUSCELINO PEREIRA DA SILVA

A abordagem da regra do octeto nos livros didáticos de Química aprovados no PNLD 2018

Monografia apresentada à Coordenação do Curso de Química, da Universidade Federal de Uberlândia, Instituto de Ciências Exatas e Naturais do Pontal, sob a orientação do Prof. Dr. José Gonçalves Teixeira Júnior, como pré-requisito para obtenção do grau de Licenciado em Química.

Ituiutaba, 2018



UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA
 Coordenação do Curso de Graduação em Química – Pontal
 Rua Vinte, 1600 - Bairro Tupã, Ituiutaba-MG, CEP 38304-402
 Telefone: (34) 3271-5236 - cocqui@pontal.ufu.br - www.facip.ufu.br/quimica



ATA

ATA DE DEFESA DO TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

Licenciatura em Química

Aos 9 dias do mês de julho do ano de 2018, às 19:00 horas, no Bloco B, Auditório II, Campus Tupã, do Instituto de Ciências Exatas e Naturais do Pontal da Universidade Federal de Uberlândia, foi realizada a defesa pública do Trabalho de Conclusão de Curso do discente Juscelino Pereira da Silva, sob matrícula 21111QMI207, no Curso de Graduação em Química Licenciatura, na disciplina GQI108, na Turma JOSÉ, intitulado “A abordagem da regra do octeto nos livros didáticos de Química aprovados no PNLD 2018”. A Comissão Avaliadora, composta pelo orientador Prof. Dr. José Gonçalves Teixeira Júnior (Presidente e Orientador), Profa. Dra. Renata Galvão de Lima e Profa. Me. Tatiane Aparecida Silva Rocha, nomeados pela Portaria COQMI 2/2018, após a apresentação e as observações, definiu que o trabalho foi considerado **Aprovado** tendo obtido a nota 100.

O resultado final foi comunicado publicamente ao candidato pelo Professor Orientador. Nada mais havendo a tratar, o Professor Orientador encerrou a seção e lavrou a presente ATA, que será assinada por todos os membros participantes da banca avaliadora.

Ituiutaba, 09 de julho de 2018.



Documento assinado eletronicamente por **José Gonçalves Teixeira Junior, Professor(a) do Magistério Superior**, em 09/07/2018, às 21:16, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



Documento assinado eletronicamente por **Renata Galvão de Lima, Professor(a) do Magistério Superior**, em 09/07/2018, às 21:18, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



Documento assinado eletronicamente por **TATIANE APARECIDA SILVA ROCHA, Usuário Externo**, em 09/07/2018, às 21:19, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site https://www.sei.ufu.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0, informando o código verificador **0519369** e o código CRC **A3EB5F9E**.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente a Deus por ter me dado forças para chegar até aqui.

Ao professor José Gonçalves pela orientação e por ter atuado diretamente na minha construção como profissional. Todo o aprendizado recebido e experiências vividas tanto nas disciplinas do curso quanto nos estágios e principalmente no período que atuei como bolsista no PIBID/Química, foram fundamentais para que me tornasse quem sou hoje. Muito obrigado José!

À minha mãe Cida que sempre me incentivou e me apoiou em meus estudos das melhores formas e maneiras que pôde.

Às minhas irmãs Regina e Regiane por sempre terem acreditado em mim.

À professora Alexandra Epoglou que me mostrou o quão precioso, desafiador e gratificante pode ser o ensino de química e o trabalho do professor.

Aos meus amigos Luyd Gustavo e Katielle Umbelino pelo apoio, conselhos e companheirismo de sempre.

Aos demais colegas e amigos que fiz durante toda a graduação e aos professores do curso por todo aprendizado construído.

À Universidade Federal de Uberlândia pela oportunidade de ter acesso a um ensino de qualidade e gratuito.

RESUMO

Neste trabalho foi realizada uma pesquisa qualitativa do tipo bibliográfica a fim de investigar se os livros didáticos de Química aprovados pelo PNLD 2018 fazem o uso da regra do octeto ao abordarem o conteúdo de ligações químicas e, se fazem, como é a abordagem. Com base na análise dos seis livros didáticos, foi possível identificar que a maioria faz o uso da regra do octeto, sendo excluído apenas um dos livros, que utiliza conceitos relacionados à energia. Considera-se que esta abordagem utilizada foi a mais acertada devido considerar tais conceitos para explicar a ocorrência das ligações químicas. Para os demais livros em que a regra do octeto foi abordada no conteúdo de ligações químicas, foram analisados as definições, os aspectos históricos, os exemplos, as limitações, as aplicações e as imagens utilizadas em cada obra. Diante desta análise, verifica-se que a regra do octeto continua sendo um recurso muito utilizado pela maioria dos autores dos livros didáticos e, consequentemente, pelos professores nas aulas de Química. Compreende-se que a regra continua sendo um procedimento importante para prever a valência e as fórmulas dos compostos químicos, entretanto não deveria ser utilizada para a memorização ou como única resposta para a formação, estabilidade e propriedades dos compostos, desconsiderando explicações que envolvem as variações de energia na formação de ligações entre átomos.

Palavras-chave: *regra do octeto, livro didático, ensino de Química.*

ABSTRACT

In this work a qualitative research of the bibliographic type was carried out to investigate if the chemical textbooks approved by PNLD 2018 use the octet rule when dealing with the contents of chemical bonds and, if they do, what the approach is like. For this, each book was analyzed, where it was possible to identify that the majority makes use of the octet rule, being exclusive only one of the books, which uses concepts related to energy. It is considered that this approach was the right one because it considers such concepts to explain the occurrence of chemical bonds. For the other books in which the octet rule was approached in the content of chemical bonds, the definitions, the historical aspects, the examples, the limitations, the applications and the images used in each work were analyzed. In this analysis, it is verified that the octet rule remains a feature widely used by most authors of textbooks and, consequently, will continue to be used by teachers in Chemistry classes. It is understood that the rule remains an important procedure to predict the valency and formulas of chemical compounds, however it should not be used for memorization or as a single response to the formation, stability and properties of the compounds, disregarding explanations involving variations of energy in the formation of bonds between atoms.

Keywords: *rule octet, textbook, teaching Chemistry.*

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO	8
REVISÃO DA LITERATURA	11
Livro Didático	11
Programa Nacional do Livro Didático (PNLD) 2018	12
Regra do octeto.....	15
O ensino de Ligações Químicas	17
METODOLOGIA.....	19
RESULTADOS E DISCUSSÕES	22
Aspectos Históricos	23
Definição da regra do octeto.....	25
Exemplos de compostos que seguem a regra do octeto	26
Limitações da regra do octeto.....	28
Aplicações da regra do octeto.....	31
Imagens relacionadas à regra do octeto.....	37
CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	41
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	43

INTRODUÇÃO

O interesse por compreender melhor o conteúdo de ligações químicas surgiu a partir das observações feitas nas aulas de Química durante o curso de graduação em Química, das experiências conseguidas como bolsista do Programa Institucional de Bolsa de Iniciação à Docência (PIBID/Química) e ainda a partir de experiências vivenciadas durante o estágio supervisionado nas escolas. Sabe-se que o conteúdo de ligações química é muito importante por possibilitar explicações sobre diversas propriedades da matéria e vários fenômenos cotidianos; além disso, é um assunto chave para o entendimento de outros conteúdos a compreensão de outros conteúdos, como interações intermoleculares, reações químicas, química orgânica, dentre outros.

Entretanto, nas atividades vivenciadas na escola, pode-se verificar que o ensino desse conteúdo tem seguido um único padrão nas aulas de química no Ensino Médio. O entendimento deste acaba sendo limitado à aplicação da regra do octeto, onde em muitas vezes esta acaba sendo o motivo dos átomos se ligarem, não possibilitando o entendimento do real motivo da formação de tais ligações, e de como de fato estes átomos adquirem estabilidade. Não há a realização de discussões de questões relacionadas ao conceito do despendimento de energia no estabelecimento de tais ligações, como feito nas disciplinas de Química no Ensino Superior. Este mesmo padrão visto nas aulas de química para o Ensino Médio é confirmado por Mortimer (1994), afirmando que estes não relacionam a formação das ligações químicas à diminuição da energia potencial do sistema, o que de fato explicaria a estabilidade adquirida pelos átomos.

Nesse contexto, sabe-se que o principal instrumento de ensino utilizado pelos professores para o trabalho em sala de aula é o livro didático. Muitas vezes, em função da falta de conhecimento específico do conteúdo, por parte do professor, o livro didático pode se tornar um importante mecanismo “na homogeneização dos conceitos, conteúdos e metodologias educacionais” (LAJOLO, 1996 *apud* WARTHA e FALJONI-ALÁRIO, 2005, p. 42). O livro didático tem-se mostrado de suma importância para o desenvolvimento dos processos de ensino e aprendizagem em sala de aula, mesmo com a existência de uma variedade de matérias pedagógicos e tecnológicos que podem facilitar o trabalho docente atualmente. Devido a isso, o livro possui papel fundamental nos processos de ensino e aprendizagem de conceitos, métodos e ideologias, por ser um material essencial para a construção do conhecimento (SILVA *et al.*, 2012).

De acordo com Cândido e colaboradores (2012), o livro didático é o recurso mais utilizado nas aulas de Química, tanto pelos professores quanto pelos alunos. Segundo estes autores, este recurso tem muitas funções, como apoio didático, auxiliar nas aulas, obter informações e auxiliar na aprendizagem. A justificativa está no fato de que há poucos momentos para o professor trocar ideias e experiências com os colegas, assim como “quando os recursos de que a escola dispõe são escassos em termos de laboratório, retroprojektor, multimídia e outros” (LOBATO *et al.*, 2009 *apud* CÂNDIDO *et al.*, 2012, p. 1).

Assim, em uma das atividades desenvolvidas no PIBID, realizou-se a análise do conteúdo de ligações químicas nos livros didáticos de Química aprovados no Programa Nacional do Livro Didático (PNLD¹) de 2015. Nesta oportunidade, analisou-se como o conteúdo de ligações era desenvolvido em cada livro, como eram apresentados os aspectos históricos relacionados ao conteúdo e, quais os exemplos utilizados para suas explicações (LIMA, *et al.*, 2015; LUZ, *et al.*, 2015; SILVA, *et al.*, 2016). Tais análises levaram à observação de que o livro didático continua sendo o principal material didático de auxílio a professores e alunos nas aulas de Química. Isto acaba influenciando diretamente na forma como os conteúdos são trabalhados, o que explica o fato das ligações químicas terem se tornado “reféns” quase que exclusivamente da aplicação da regra do octeto.

Silva (2016) explica o porquê desta observação ainda ser válida atualmente

Um dos possíveis motivos para o uso quase que exclusivo da “regra do octeto” como modelo de ensino para as Ligações Químicas ainda nos dias atuais, pode estar relacionado à falta de outros modelos explicativos que possam tratar a estabilidade dos átomos nas Ligações Químicas através de conceitos que envolvam a energia do processo que sejam aplicáveis ao Ensino Médio. Talvez, o caráter abstrato do conceito de energia e seus reflexos no processo de ensino-aprendizado possa ser a justificativa para tal constatação (SILVA, 2016, p. 16).

A percepção de que a regra do octeto não é de fato a única abordagem para o ensino de ligações químicas não é nova. De acordo com Mortimer, Mól e Duarte (1994), desde a década de 1960, Ferreira já criticava a infalibilidade dessa regra

o conceito de octeto de elétrons tem realmente muita importância histórica, mas [...] já é tempo de destroná-lo da sua infalibilidade papal! [...] A energia eletrostática entre o cátion Na^+ e o ânion Cl^- é que dá estabilidade ao cloreto de sódio. Neste caso, como em outros, não é a tendência de adquirir um octeto de elétrons a causa do fenômeno de transferência eletrônica. (FERREIRA, 1962 *apud* MORTIMER; MOL; DUARTE, 1994, p. 243).

¹ O Programa Nacional do Livro e do Material Didático (PNLD), do Ministério da Educação, é destinado a avaliar e a disponibilizar materiais de apoio à prática educativa, de forma sistemática, regular e gratuita, às escolas públicas de educação básica das redes federal, estaduais, municipais e distrital. Ele será detalhado no capítulo referente à revisão da literatura.

Além disso, outro fato importante a se destacar é afirmado por Silva (2016), em que a regra do octeto por apresentar várias limitações para explicar uma vasta quantidade de compostos, não pode ser considerada como “regra”. Diante dessa problemática, a presente investigação busca-se responder às questões: Os livros didáticos de Química aprovados no PNLD 2018 ainda fazem o uso da regra do octeto para explicar os conceitos de ligações químicas? E, se a utilizam, como essa regra é abordada?

No próximo capítulo, é apresentada a revisão da literatura no que se refere às pesquisas que discutem os processos de escolha – PNLD – e, análise de livros didáticos de Química. Na sequência, apresenta-se uma revisão teórica sobre o conteúdo de ligações químicas e a regra do octeto e o que já foi publicado sobre o ensino deste conceito em revistas brasileiras e anais de eventos.

REVISÃO DA LITERATURA

Livro Didático

De acordo com Szychta (2015), o livro didático é fundamental para o desenvolvimento da prática escolar, uma vez que este estabelece o elo entre a aprendizagem, o cotidiano e a vida profissional. Orlandi (2003) afirma que os livros didáticos representam a principal fonte de trabalho como material impresso em sala de aula na maioria das escolas de ensino público, podendo dessa forma ser considerado indispensável durante as aulas. Para Luchesi (2002), o livro didático funciona como uma ferramenta de auxílio para o educador no processo de ensino e para o aluno no processo de aprendizagem.

Dessa forma, os livros didáticos se tornaram fundamentais para o planejamento e desenvolvimento das aulas de Química. De acordo com Silveira Júnior, Lima e Machado (2011)

Não é o único recurso didático existente, mas sempre foi o mais utilizado, importante, disseminado e intensivo. Para alguns professores, são quase que determinantes da prática pedagógica em sala de aula, sendo ainda utilizado como um manual completo. Outros professores, de forma diversa, estabelecem uma interação pessoal e alternativa com o livro didático adotado, deixando de lado parte dos textos e atividades. (SILVEIRA JÚNIOR; LIMA; MACHADO, 2011, p. 569).

Devido essa importância, vários trabalhos foram publicados tendo como fundo pesquisas realizadas sobre uma grande variedade de temas envolvendo a análise de livros didáticos. Dentre eles estão: Maia e colaboradores (2011), Lemes, Souza e Cardoso (2010), Cândido e colaboradores (2012), Canzian e Maximiano (2010), Matos e colaboradores (2009), Loguercio, Samrsl e Del Pino (2000), entre outros.

Na pesquisa realizada por Maia e colaboradores (2011), foram investigados os critérios de seleção e formas de utilização dos livros didáticos adotados no ensino médio por professores de Química de escolas estaduais situadas na região sul da Bahia. Como resultado, os autores apontaram a necessidade de uma formação continuada que aborde questões relacionadas à escolha e uso do livro didático pelos professores.

Lemes, Souza e Cardoso (2010) realizaram uma análise de livros didáticos de Química aprovados pelo Programa Nacional do Livro para o Ensino Médio (PNLEM), sobre as representações utilizadas por estes livros para facilitar o entendimento teórico-conceitual, no conteúdo de dissolução. Como resultado é afirmada a necessidade de uma maior reflexão na forma que esta estratégia é utilizada e ainda na escolha, uso e avaliação dos livros didáticos.

Na pesquisa realizada por Cândido e colaboradores (2012) é feita uma análise sobre a abordagem contextual que os livros de Química aprovados pelo PNLD 2012 fazem no conteúdo de Ligações Químicas. Como resultado da análise, os autores observaram que a forma como tal conteúdo tem sido trabalhado nos livros tem passado por mudanças. Foi verificado ainda que estes livros podem apresentar problemas que devem ser apontados, para dessa forma, com a análise de tais problemas, este seja utilizado de uma melhor forma nas aulas de Química.

Canzian e Maximiano (2010) apresentam uma análise sobre como os aspectos relacionados ao deslocamento de equilíbrio químico são apresentados em livros didáticos do Ensino Médio. Como resultado, os autores afirmam que o Princípio de Le Chatelier é trabalhado nos livros de forma “indutiva, vaga, ambígua, universal, sem fundamentação teórica e sem mostrar suas limitações”, levando o aluno a acreditar que este se trata de um princípio infalível ou uma verdade absoluta.

Matos e colaboradores (2009) analisaram a influência das modificações na legislação que regulamenta o Ensino Médio a partir da década de 1970 sobre a abordagem do conteúdo nomenclatura de compostos orgânicos nos livros didáticos de Química, verificando ainda as concepções dos cidadãos sobre tal. Com a realização desta pesquisa, os autores chegaram às seguintes conclusões: a partir da década de 1970, este conteúdo é o mais destacado nos livros didáticos, não havendo nenhuma alteração; no decorrer de todas as décadas, os livros tinham a preocupação em comum de preparar o estudante para o vestibular e a população analisada não conseguiu relacionar o conteúdo estudado com as substâncias orgânicas utilizadas no dia-a-dia.

Loguercio, Samrsla e Del Pino (2000) realizaram em sua pesquisa uma análise dos livros didáticos utilizados por professores do estado do Rio Grande do Sul durante uma capacitação profissional docente. Foram investigados os critérios utilizados por tais professores para a realização da escolha do livro didático, onde a partir destes critérios, os autores apontaram as dificuldades enfrentadas por estes professores e a falta de autonomia apresentada por estes para a realização de uma análise mais detalhada dos livros didáticos.

Programa Nacional do Livro Didático (PNLD) 2018

O Programa Nacional do Livro e do Material Didático (PNLD) tem por função a avaliação e distribuição gratuita de obras didáticas, pedagógicas e literárias, entre uma variedade de outros materiais que são subsídios para o exercício pedagógico. Todo este

material é enviado às escolas federais, estaduais, municipais e distrital e às instituições de educação infantil comunitárias, confessionais ou filantrópicas sem fins lucrativos e conveniadas com o Poder Público pedagógico (BRASIL, 2018).

De acordo com Silveira Júnior, Lima e Machado (2011), através do PNLD, o Ministério da Educação (MEC) visa contribuir para a universalização e melhora do ensino, democratizando o uso e estabelecendo critérios para que os livros didáticos possam ser distribuídos aos alunos das escolas públicas. Assim, os alunos do ensino médio das escolas públicas receberem gratuitamente os livros didáticos escolhidos por sua escola, dentre as seis opções indicadas pelo Guia de Livros Didáticos de Química do PNLD 2018.

De acordo com o PNLD 2018, as obras foram submetidas a uma ficha avaliativa composta por seis blocos de avaliação, sendo: descrição da obra; características gerais da obra; conformidade com a legislação; coerência do conhecimento químico na obra; pressupostos teórico-metodológicos do ensino de Química e perspectiva orientadora presente no manual do professor. Cada um destes blocos avaliativos é constituído por itens compostos por indicadores, que norteiam os critérios que as obras devem seguir.

O guia ainda apresenta uma resenha de cada obra aprovada, com a visão geral, descrição sucinta de cada obra, perspectiva da análise realizada e sugestões para os professores desenvolverem a Química escolar a partir do trabalho com uma das obras selecionadas.

Várias pesquisas foram realizadas tendo como foco a análise dos livros adotados pelo PNLD. Dentre elas podem ser citadas como exemplo: Pereira e Núñez (2013), Silveira Júnior, Lima e Machado (2011), Silva, Santos e Mendonça (2013), Mori e Curvelo (2013), Stadler e colaboradores (2012), Santos (2006), entre outros.

Na pesquisa de Pereira e Núñez (2013) foi realizada uma análise dos gráficos cartesianos utilizados pelos livros de Química adotados pelo PNLD 2012, apontando a tipologia e a frequência com que estes eram utilizados por tais livros. Como resultado, os autores afirmam que os conteúdos Termoquímica, Propriedades Coligativas e Soluções são os que mais adotam estes tipos de gráficos, podendo estes ser do tipo linha, ponto, coluna e barra.

Silveira Júnior, Lima e Machado (2011) fazem uma análise da abordagem do conteúdo de ligações químicas nos livros de Ciências dos anos finais do Ensino Fundamental, adotados pelo PNLD 2011. Como resultado, os autores classificaram as obras didáticas em três grupos em relação à forma como as ligações químicas eram trabalhadas. No maior grupo, foi detectada “uma padronização e aspectos inadequados quanto aos critérios de análise

elencados”. As demais obras foram distribuídas nos outros grupos, com a observação se estas abordavam o conteúdo de ligações químicas ou se utilizavam de uma melhor abordagem para tal conteúdo.

Silva, Santos e Mendonça (2013) apresentam em sua pesquisa o resultado da análise de duas coleções de livros didáticos de Química aprovadas pelo PNLD 2012. Esta análise foi dividida em cinco categorias, “sendo elas: Vida dos cientistas, características pessoais, quem faz a Ciência, evolução da Ciência e papel do conteúdo histórico”. Tais categorias foram divididas em subcategorias, tendo como foco a verificação da forma como a História da Ciência é abordada nestes manuais. Como resultado, os autores afirmaram que as coleções analisadas fazem uma abordagem histórica que não realiza a construção do processo que levou determinados cientistas a fazerem tais descobertas, o que pode levar os alunos a obterem falsas impressões sobre a Ciência.

Mori e Curvelo (2013) realizaram em sua pesquisa uma “Análise de Conteúdo” das coleções de livros didáticos de Ciências aprovadas pelo PNLD 2007, “considerando especificamente as propostas de experimentos relacionadas à aprendizagem do conhecimento químico nas séries iniciais do ensino fundamental”. Como resultado, os autores afirmaram que estes livros trazem várias atividades que fazem com que os alunos realizem “apenas a montagem de aparatos, as observações/coletas de dados e a tomada de conclusões”. Oito atividades foram classificadas de modo que incentivasse o planejamento dos experimentos e duas a formulação de hipóteses.

Stadler e colaboradores (2012) trazem em sua pesquisa uma análise da “presença dos obstáculos epistemológicos estudados por Bachelard” nos livros adotados pelo PNLD 2012. Como resultado, foi verificado que tais livros abordaram estes obstáculos, atribuindo-os à simplificação de “termos científicos ou abstratos”. Os autores ainda observaram que o obstáculo tido como animista não foi abordado, o que pôde “indicar maior preocupação com a inserção da linguagem científica no cotidiano escolar”.

Santos (2006) propõe em seu trabalho a criação de um instrumento que auxilie o professor a “analisar e avaliar o livro didático de química para o ensino médio por meio de critérios apresentados na literatura”. Como resultado da análise, a autora afirma que os professores não fazem o uso de critérios pautados “em pesquisas na área de ensino de Ciências para escolha do livro didático de Química, prevalecendo fatores subjetivos como conteúdo, exercícios e preço”. A partir da realização de tal análise foram estabelecidos critérios de avaliação que foram organizados em uma planilha. Através da criação desta, a autora espera “que os professores de Ensino Médio obtenham um conjunto de informações

significativas e concretas, que possibilite uma análise criteriosa e consciente” (SANTOS, 2006, p. 221) dos livros didáticos.

Regra do octeto

De acordo com Subramanian, Melo Filho e Saldanha (1989) a regra do octeto foi elaborada a partir das teorias criadas por Newlands, Mendeleyev, Abegg e Thomson. Já Gugliotti (2001) credita a criação da regra do octeto a Irving Langmuir, onde o processo histórico que levou à criação desta ocorreu da seguinte forma

Langmuir já estava interessado no assunto, quando então em 1916, duas publicações importantes aparecem, uma de Kossel e outra de Lewis. Ambas eram similares, baseadas nas hipóteses de Abegg, mas a teoria de Lewis era a mais completa. Lewis imaginava um átomo estático, com os elétrons arranjados em camadas cúbicas em torno do núcleo. A sua teoria, aplicável aos átomos mais leves, era conhecida como “regra dos oito” (nome este dado em função da já conhecida “regra dos dois”). Langmuir refinou e desenvolveu as ideias de Lewis, criando sua própria teoria atômica. Na teoria de Langmuir, que podia ser aplicada também aos átomos mais pesados e explicava a estabilidade dos gases nobres, os elétrons estavam arranjados em camadas concêntricas em torno do núcleo. Este modelo obteve melhor aceitação tanto pelos químicos como pelos físicos, e foi chamado por Langmuir de “regra do octeto” para não ser confundido com o de Lewis (GUGLIOTTI, 2001, p. 569).

Normalmente, os livros do ensino médio justificam que os átomos adquirem estabilidade ao apresentarem configuração eletrônica com oito ou dois elétrons, ignorando dessa forma o dispêndio de energia ocorrido no processo (MORTIMER, 1994). Já os livros do ensino superior, como Atkins e Jones (2006) definem a regra do octeto ao explicarem a formação das ligações iônicas e covalentes ao iniciarem o estudo das estruturas de Lewis, onde afirmam que

Quando uma ligação iônica se forma, um átomo perde elétrons e outro os recebe até que ambos atinjam a configuração de um gás nobre – um duplete para os elementos vizinhos do hélio e um octeto para os demais. A mesma ideia pode ser estendida às ligações covalentes. Entretanto, quando uma ligação covalente se forma, os átomos *compartilham* elétrons até atingir a configuração de um gás nobre. Lewis chamou este princípio de **regra do octeto**: *na formação de uma ligação covalente, os átomos tendem a completar seus octetos pelo compartilhamento de elétrons* (ATKINS; JONES, 2006, p. 170).

Da mesma forma, em outro livro bastante usado no superior, a regra é definida como:

Os átomos frequentemente ganham, perdem ou compartilham seus elétrons para atingir o número de elétrons do gás nobre mais próximo deles na tabela periódica. Os gases nobres têm distribuições eletrônicas muito estáveis, como evidenciado por suas altas energias de ionização, baixas afinidades por elétrons adicionais e deficiência geral de reatividade química. Como todos os gases nobres (exceto o He), têm oito elétrons de valência, e muitos átomos sofrendo reações também terminam com oito elétrons de valência. Essa observação levou a uma norma conhecida como **regra do octeto**: *os átomos tendem a ganhar, perder ou compartilhar elétrons até que eles estejam circundados por oito elétrons de valência* (BROWN; LEMAY; BURSTEN, 2005, p. 253).

Em relação à forma de como a regra do octeto é abordada no ensino de Química, várias pesquisas têm levantado críticas ao uso da regra como única forma de abordagem. Como exemplo de tais pesquisas temos: Mortimer (1994), Tavares (2009), Milaré (2007), Costa-Beber e Maldaner (2009), Silva e Marques (2016), entre outros.

Mortimer (1994) afirma que os livros didáticos trazem uma visão determinista e antropomórfica, levando à ideia de que os átomos precisam perder ou ganhar elétrons a fim de completarem seu octeto. Milaré (2007) também faz crítica ao uso do antropomorfismo exacerbado pelos livros, afirmando que, devido este tipo de abordagem, “o raciocínio dos alunos não é estimulado e a formação do pensamento científico é prejudicada”. Tavares (2009) também faz crítica ao “animismo” atribuído às substâncias químicas devido à abordagem da regra do octeto, onde a substância acaba sendo “detentora de vontades próprias, sugerindo que a mesma atua por puro interesse”.

Mortimer (1994) ainda afirma que os livros didáticos de Química não conseguem realizar uma abordagem com questões relacionadas ao conceito de energia envolto à formação das ligações químicas, o que desta forma poderia de fato explicar a estabilidade adquirida pelos átomos. Silva e Marques (2016) afirmam que devido à existência de modelos mais “atuais” como o da Teoria de Ligação de Valência e o da Teoria do Orbital Molecular, não se pode de fato concluir que “a estabilidade atômica não se relaciona exclusivamente à obtenção de dois ou oito elétrons na camada de valência”. Milaré (2007) aponta o que o uso de tal tipo de abordagem ocasiona, afirmando que esta leva à desvalorização do “desenvolvimento das teorias no contexto histórico da Química”.

Já Costa-Beber e Maldaner (2009) afirmam que, como “a compreensão submicroscópica dos constituintes da matéria é pouco contemplada nos livros didáticos”, os alunos acabam utilizando de conceitos memorizados e não construídos por um “pensamento científico/químico”, ao explicarem as transformações e propriedades químicas das substâncias. Devido a esta afirmação, os autores questionam a base teórica sobre o ensino de ligações químicas no Ensino Médio, afirmando que

Acredita-se que pelo princípio de energia mínima dos átomos em interação seria possível significar conceitos mais direcionados a formar o pensamento químico, devido ao caráter submicroscópico. Acredita-se, também, que essa base teórica apresenta maior potencialidade de compreensão, de entendimento dos motivos que levam a comunidade científica a pensar dessa forma atualmente. (COSTA-BEBER; MALDANER, 2009, p. 109).

Por outro lado, Subramanian, Melo Filho e Saldanha (1989) defendem veemente o uso da regra do octeto para o ensino das ligações químicas. Os autores afirmam que esta deve ser mantida por possuir fundamentação teórica e ser útil para explicar a formação de várias

substâncias químicas. É importante ressaltar o processo descrito pelos autores que os alunos devem seguir para entenderem como utilizar a regra do octeto, e como tal processo mesmo tendo sido escrito no ano de 1989, ainda se aproxima da forma como a regra do octeto é trabalhada nas aulas de química no Ensino Médio atualmente

Em primeiro lugar, devem ser treinados a escrever estruturas de Lewis, estritamente de acordo com a regra, para casos simples e diretos. Após adquirirem prática suficiente, devem aplicar a regra aos casos que conhecemos agora como exceções aparentes. Ao tentar encontrar as estruturas de Lewis para esses casos, eles terão oportunidade de apreciar o poder de previsão da regra. (SUBRAMANIAN; MELO FILHO; SALDANHA, 1989, p. 290).

O ensino de Ligações Químicas

Várias pesquisas foram realizadas sobre o ensino do conteúdo ligações químicas. Como exemplo, podem ser citadas: Silva e Marques (2016), Sá e Garritz (2014), Costa-Beber e Maldaner (2009), Trindade e Hartwig (2012), Mendonça, Justi e Oliveira (2006), Carvalho, Bueno e Silva (2009), entre outros.

Silva e Marques (2016) trazem em seu trabalho “uma proposta didática para a abordagem das Ligações Químicas baseada no princípio da energia” (p. 4). Os autores afirmam que tal proposta serve de base teórica metodológica para o ensino das Ligações Químicas, onde estes acreditam “ser possível uma abordagem desse conceito por meio das questões que envolvam energia” (SILVA; MARQUES, 2016, p. 12).

Na pesquisa realizada por Sá e Garritz (2014), foi feita uma análise das estratégias didáticas identificadas em uma sequência didática sobre ligações químicas, que foi elaborada e executada durante as aulas de Química no Ensino Médio, por bolsistas do PIBID/Química. A realização desta análise propiciou aos autores o entendimento da proposta da sequência didática “como uma ação importante na formação dos bolsistas, fruto da reflexão e do trabalho colaborativo entre os participantes” (SÁ; GARRITZ, 2014, p. 470).

Costa-Beber e Maldaner (2009) investigaram em sua pesquisa os “níveis de significação atribuídos por estudantes concluintes do Ensino Médio ao conteúdo Ligações Químicas pela identificação de compreensões básicas que possuíam a partir da análise de questões abertas” (p. 97). Como resultado, os autores afirmaram que por intermédio do professor é possível a construção de uma aprendizagem significativa, “se aceitarmos explicações simplistas para o processo da interação entre átomos na formação das ligações químicas” (p. 97). Tais explicações se distanciam do real conceito relacionado às questões energéticas, que explicaria de fato a formação das ligações entre os átomos.

Trindade e Hartwig (2012) descrevem em sua pesquisa os resultados da análise da aplicação de mapas conceituais como forma de avaliação de aprendizagem em uma atividade relacionada ao conteúdo de ligações químicas, aplicada em uma turma de 1ª série do ensino médio. Como resultado, os autores afirmaram que através da aplicação de tal estratégia metodológica, foi possível considerar tal “recurso válido para sondar em profundidade as limitações e potencialidades de aprendizagem dos alunos” (p. 83).

Mendonça, Justi e Oliveira (2006) fazem em seu artigo um relato de uma pesquisa realizada com estudantes do ensino médio de diferentes escolas, “no qual eles foram solicitados a elaborar uma analogia para explicar como uma ligação química ocorre” (p. 1). Após a elaboração desta, os alunos avaliaram as analogias que elaboraram através da resolução de algumas questões, levantando os pontos positivos e negativos. Como resultado da análise das respostas dos alunos, os autores afirmaram que, apesar das dificuldades dos alunos em formular analogias, “esta é uma atividade que exige do aluno criatividade, análise crítica e o estabelecimento de relações coerentes entre dois domínios distintos” (MENDONÇA, JUSTI, OLIVEIRA, 2006, p. 11).

Carvalho, Bueno e Silva (2009) apresentam como objetivo da realização de seu trabalho, analisar as concepções dos estudantes da educação básica e superior a respeito do conceito de ligação química. Foi realizado o planejamento e aplicação de uma Unidade Didática com o título “Ligações Químicas em uma abordagem problematizadora”, em duas turmas de 1º ano do Ensino Médio. Como resultado os autores afirmaram que “a maioria dos estudantes, mesmo do Ensino Superior não conseguiram responder aos questionários de maneira satisfatória, demonstrando a ineficiência do processo de ensino-aprendizagem atual” (CARVALHO, BUENO, SILVA, 2009, p. 1).

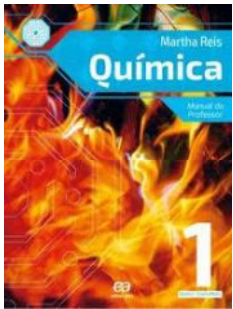
METODOLOGIA

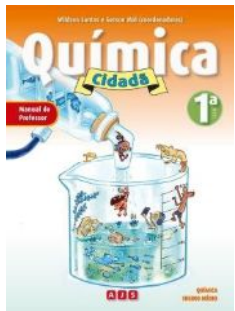
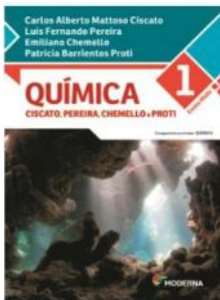
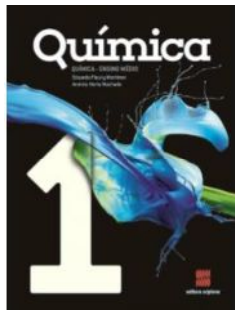
Para o desenvolvimento deste trabalho, foi feita uma pesquisa qualitativa. Este tipo de pesquisa tem como base o ambiente natural e o pesquisador como principal agente do estudo, sendo ainda “caracterizada por ser descritiva, por dar ênfase ao processo e não aos resultados” (LUDKE e ANDRÉ, 1986 apud CARVALHO, BUENO e SILVA, 2009, p. 3).

A pesquisa desenvolvida foi realizada tendo como base a análise do volume um de cada uma das coleções dos livros didáticos de Química aprovados pelo PNLD 2018, sendo desta forma classificada como do tipo bibliográfica. Os livros aqui analisados estão listados na Tabela 1. Lima e Miotto (2007) afirmam que este tipo de pesquisa “implica em um conjunto ordenado de procedimentos de busca por soluções, atento ao objeto de estudo, e que, por isso, não pode ser aleatório”. Já de acordo com Amaral (2007, apud Cândido et al, 2012) esta pesquisa “consiste no levantamento bibliográfico, seleção, fichamento e arquivamento de informações relacionadas à pesquisa”.

Para Oliveira (2007) a pesquisa bibliográfica proporciona ao pesquisador um contato direto com documentos de domínio científico, como livros e artigos científicos, sendo que “o mais importante para quem faz opção pela pesquisa bibliográfica é ter a certeza de que as fontes a serem pesquisadas já são reconhecidamente do domínio científico” (p. 69).

Tabela 1 – Livros Didáticos analisados, aprovados pelo PNLD 2018

Livro			Autor(es)	Editora	Ano
A:	Ser Protagonista		Aline Thaís Bruni, Ana Luiza Petillo Nery, André Amaral Gonçalves Bianco, Julio Cezar Foschini Lisboa, Henrique Rodrigues, Kátia Santana, Lia Monguilhott Bezerra, Paulo A. G. Bianco, Rodrigo Marchiori Liegel, Simone Garcia de Ávila, Simone Jaconetti Ydi, Solange Wagner Locatelli e Vera Lúcia Mitiko Aoki	Edições SM 3. ^a edição	2016
B:	Química		Martha Reis Marques da Fonseca	ÁTICA 2. ^a edição	2016

C:	Química Cidadã		Eliane Nilvana Ferreira de Castro, Gentil de Souza Silva, Gerson Mól, Roseli Takako Matsunaga, Sandra Maria de Oliveira, Salvia Barbosa Farias, Siland Meiry Franca Dib e Wildson Santos	AJS 3. ^a edição	2016
D:	Química		Carlos Alberto Mattoso Ciscato, Emiliano Chemello, Luis Fernando Pereira e Patrícia Barrientos Proti	Moderna 1. ^a edição	2016
E:	VIVÁ – Química		Vera Lúcia Duarte de Novais e Murilo Tissoni Antunes	Positivo 1. ^a edição	2016
F:	Química		Andréa Horta Machado e Eduardo Fleury Mortimer	Scipione 3. ^a edição	2016

A partir de tal análise foram feitos apontamentos iniciais sobre qual livro fazia referência ao termo “regra do octeto”, observando se havia diferença na nomenclatura utilizada por cada autor ao se referir à regra. Em sequência, foram criadas as seguintes categorias em relação aos aspectos mais comuns utilizados na abordagem da regra do octeto, durante o desenvolvimento do conceito das ligações químicas: 1) aspectos históricos; 2) definição da regra do octeto; 3) exemplos de compostos que seguem a regra do octeto, 4) limitações da regra do octeto, 5) aplicações da regra do octeto e, 6) imagens relacionadas à regra do octeto. Estes aspectos foram descritos e analisados no próximo capítulo deste

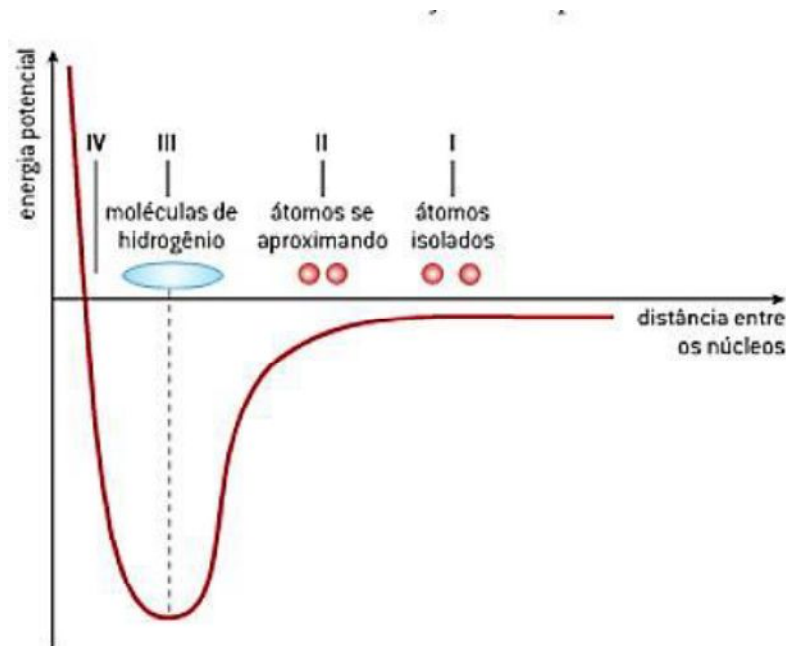
trabalho, tendo como base as seguintes pesquisas que foram utilizadas para a realização da análise dos dados: Mortimer (1994), Oki e Moradillo (2008), Gugliotti (2001) e Silva (2016).

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os resultados constituem-se de informações qualitativas presentes nos livros didáticos de Química aprovados pelo PNLD 2018. O primeiro resultado observado nesta análise foi que a maioria dos autores faz referência ao termo regra do octeto, sendo excluído apenas o livro F, que utiliza outra abordagem.

Em análise do livro F, este utiliza conceitos relacionados à energia para explicar a formação das ligações químicas. Nas ligações covalentes, os autores afirmam inicialmente “que as substâncias se formam porque os átomos tendem a um estado energético mais estável”. Como exemplo é utilizado a formação da molécula de hidrogênio, explicada através do diagrama de energia que pode ser visto na Figura 1.

Figura 2 – Diagrama de energia potencial em função da distância internuclear para a formação da molécula de hidrogênio, apresentado pelo livro F



Fonte: (MORTIMER; MACHADO, 2016, p. 260)

Através do diagrama, o livro F explica o que ocorre com a energia de um sistema à medida que dois átomos de hidrogênio vão se aproximando. O processo leva à formação da molécula de gás hidrogênio com a realização da ligação covalente entre os átomos, que de acordo com os autores, foi formada devido o equilíbrio estabelecido entre as forças de atração e repulsão, onde “os elétrons de cada um dos átomos são atraídos igualmente pelos dois

núcleos”. Dessa forma, é feita uma generalização, onde é afirmado que as ligações químicas se formam com a diminuição da energia do sistema.

Para a formação das ligações iônicas, o livro F utiliza do exemplo da formação do cloreto de sódio (NaCl), onde a ligação iônica é estabelecida devido à existência de forças de atração eletrostática entre os íons Na^+ e Cl^- . É importante observar que os autores afirmam que nos compostos iônicos não há a formação de moléculas individuais, mas sim de retículos cristalinos que são resultantes das atrações eletrostáticas entre os íons. De acordo com Mortimer (1994), o uso da regra do octeto para a explicação da estabilidade de compostos químicos acabou substituindo as principais teorias envolvidas na formação das ligações químicas, como a energia envolvida no processo. Este fato pode ter contribuído para ser considerado comum o uso da regra do octeto na abordagem das ligações químicas nos livros didáticos.

A segunda observação feita através da análise realizada foi à diferença na nomenclatura utilizada pelos autores nos livros didáticos. Pôde-se observar que os livros B, C e D utilizam o termo “regra do octeto”, o livro A, utiliza o termo “modelo do octeto”, enquanto no livro E emprega dois termos “teoria eletrônica das ligações” ou “teoria do octeto”. Vale ressaltar que no decorrer deste trabalho o termo “regra do octeto” será utilizado ao se referir à regra. O conceito de ligação química e, em especial, o uso da regra do octeto nos livros didáticos, foi analisado a partir da consideração dos seguintes aspectos: 1) aspectos históricos; 2) definição da regra do octeto; 3) exemplos de compostos que seguem a regra do octeto, 4) limitações da regra do octeto, 5) aplicações da regra do octeto e, 6) imagens relacionadas à regra do octeto. Esses aspectos serão analisados a seguir.

Aspectos Históricos

Os aspectos históricos relacionados à regra do octeto foram analisados, buscando entender a forma como estes eram abordados e sua importância para a compreensão do conteúdo. De acordo com Oki e Moradillo (2008), a História da Ciência possui papel fundamental na construção da cultura e humanização científica, fazendo com que a ciência esteja diretamente relacionada à sociedade. Essa relação faz com que nos livros de Química atuais, os autores ainda comumente abordem a História da Química em seus conteúdos, onde de acordo com a análise previamente realizada, é possível afirmar que em todos os livros adotados pelo PNLD 2018, em que há o uso da regra do octeto, os aspectos históricos relacionados a esta são abordados.

Em análise do livro A, estes aspectos aparecem apenas ao final do capítulo, sem relação com o desenvolvimento do conteúdo, em uma “caixa” intitulada “Química tem história”, em um texto com o seguinte título: “O estabelecimento da valência no século XIX”. O texto se refere às observações feitas por químicos da época, sobre a regularidade observada no número de combinações que diferentes elementos químicos poderiam realizar com outros elementos, o que levou à criação do termo “valência”. Já no livro B, os aspectos históricos relacionados à regra do octeto são apresentados de forma separada, mas diretamente relacionado ao conteúdo, com o desenvolvimento da ideia de que a teoria eletrônica de valência foi primeiramente enunciada pelo químico Walther Kossel e aperfeiçoada posteriormente pelos químicos Gilbert Newton Lewis e Irving Langmuir, este último criador do termo regra do octeto.

O livro C cita a importância do número oito para vários cientistas quando no estudo da formação de substâncias, citando a “Lei das Oitavas” de Alexander Newlands, a teoria de Mendeleev em que nenhum elemento deveria apresentar valência superior a oito e a afirmação dita por Thomson de que a estabilidade dos átomos de gases nobres seria consequência de suas camadas mais externas terem oito elétrons. Este livro ainda trás as ideias dos químicos Walther Kossel e Gilbert Newton Lewis, na mesma ordem com que estes cientistas aparecem no livro B, em que propuseram que as combinações químicas eram resultado da estabilidade da união de átomos com oito elétrons em suas últimas camadas eletrônicas. Com a utilização destas teorias, foi formulada a base para a regra do octeto, assim nomeada por Irving Langmuir de acordo com os autores.

Em análise do livro D, verifica-se que os estudos sobre a camada de valência dos átomos tiveram início no século XIX por diferentes cientistas, entre eles Mendeleev, Richard Abegg e Thomson. Segundo a obra, Richard Abegg foi o primeiro a relatar que a estabilidade dos gases nobres (com exceção do hélio) tem relação com os oito elétrons de suas camadas de valência. Em 1916, Walther Kossel enunciou pela primeira vez essa relação com a teoria eletrônica de valência. Os estudos tiveram continuidade por cientistas, onde o livro trás as ideias dos químicos Gilbert Newton Lewis, que chamou esta relação de “grupo de oito”, e Irving Langmuir, denominando-a como “octeto”, onde os autores citam estes cientistas da mesma forma que nos livros B e C. Já em análise do livro E, os autores trazem no início do capítulo um breve histórico sobre a regra do octeto, afirmando que as teorias iniciais que explicavam as ligações químicas tinham como base a estabilidade que os gases nobres apresentavam em seu estado fundamental. Duas teorias são citadas, mas não são explicadas ou

mencionadas como nos livros B, C e D, do cientista alemão Walther Kossel e do estadunidense Gilbert Newton Lewis.

Através da análise da história abordada pelos livros em relação à regra do octeto, pode-se afirmar que os cientistas Walther Kossel, Gilbert Newton Lewis e Irving Langmuir foram citados por todos os livros analisados, em exceção ao livro E, onde Irving Langmuir não foi citado. Apenas no livro C foi apresentada uma discussão sobre a importância do número oito, onde os autores utilizaram as teorias de Alexander Newlands, Mendeleev e Thomson para explicar tal importância. Ainda pode-se afirmar que Richard Abegg foi citado apenas pelo livro D, onde os autores afirmaram que este foi o primeiro a relatar que a estabilidade dos gases nobres tem relação com os oito elétrons de suas camadas de valência.

Em consideração a qual livro apresentou uma abordagem mais completa do processo histórico que levou à criação da regra do octeto, pode-se afirmar que o livro D apresentou um histórico mais completo, abordando não só todos os cientistas mais citados pela maioria dos livros, mas ainda Mendeleev, Richard Abegg e Thomson. Pode-se considerar que esta abordagem é a mais acertada uma vez que esta está diretamente relacionada a todo o processo histórico que levou à criação da regra do octeto por Irving Langmuir.

Definição da regra do octeto

Em continuidade na análise dos livros aprovados pelo PNLD 2018, foram observados quais termos e subsídios os autores utilizaram a fim de abordar as teorias envolvidas à regra do octeto. Nos livros B e C, a regra é relacionada à ideia de que os átomos dos elementos químicos estabelecem ligações químicas a fim de adquirirem configurações semelhantes ao gás nobre mais próximo a ele na tabela periódica, afirmando que esta regra não pôde explicar o motivo das ligações químicas e que esta não é seguida pela maioria dos elementos químicos, mas justificam que no advento de sua origem, os cientistas a utilizavam para explicar a regularidade observada nas configurações eletrônicas dos compostos mais comuns formados por elementos representativos. Já no livro D, os autores afirmam que, de acordo com a regra do octeto, os átomos de substâncias se combinam por meio das ligações químicas, perdendo, recebendo ou compartilhando elétrons para adquirirem a configuração eletrônica de um gás nobre em seu estado fundamental.

Em relação aos termos utilizados pelos autores que serviram de base para definir a regra do octeto, pôde ser observado que o termo “camada de valência” foi comumente utilizado pelos livros A, B, D e E. Nestes livros, o fato dos elementos representativos

apresentarem quando combinados a outros elementos configuração eletrônica semelhante à de um gás nobre, é explicado pelo estabelecimento da camada de valência completa, a ser conseguida em tal processo pelos elementos químicos, para que estes possam adquirir estabilidade.

A fim de demonstrar que os elementos classificados como gases nobres apresentam valência completa, o livro A trás uma tabela com o título “Distribuição eletrônica dos gases nobres”, apresentando o número atômico e a distribuição dos elétrons por camada, de cada gás nobre. Vale ressaltar que tanto no livro A quanto no livro B, os autores afirmam que apenas os átomos destes elementos são estáveis em sua forma isolada, ou seja, não necessitam de realizar ligação química para serem estáveis na natureza. Ainda no livro A, os autores trazem uma breve explicação em relação ao significado do termo “Valência”, relacionando à classificação dada a cada elemento químico de acordo com a capacidade de se unirem com outros átomos, podendo ser mono, di, tri ou tetravalentes.

Através da análise realizada pode-se afirmar que em todos os livros em que a regra do octeto foi abordada, houve a relação da definição desta com a ideia de que os átomos dos elementos químicos estabelecem ligações químicas para adquirirem configuração eletrônica semelhante a um gás nobre em seu estado fundamental. Também é possível afirmar o uso do determinismo e antropomorfismo para os átomos ao se tratar das ligações químicas nos livros B, D e E. Para Mortimer (1994), os livros didáticos de Química em seu todo se utilizam de conceitos deterministas e antropomórficos ao tratarem das ligações químicas, afirmando que átomos têm que “ganhar” ou “receber” elétrons para completar seu octeto. Já em relação à teoria de como os átomos adquirem estabilidade eletrônica, pela análise realizada pode-se afirmar que esta é obtida quando os átomos completam sua camada de valência durante a realização das ligações químicas, ideia defendida pela maioria dos livros analisados (A, B, D e E).

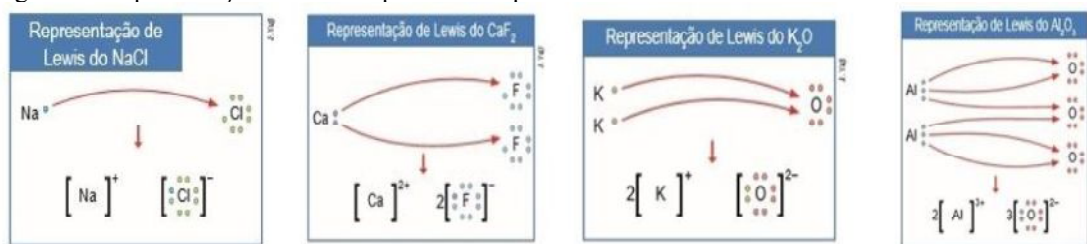
Exemplos de compostos que seguem a regra do octeto

Outro aspecto observado durante a realização da análise dos livros foram os exemplos utilizados pelos autores para demonstrar como os elementos químicos se ligavam a outros elementos de acordo com a regra do octeto. Em análise do livro A, os autores citam no subtópico “Valência” apenas as substâncias metano (CH_4) e água (H_2O), onde a valência era relacionada de acordo com o número de átomos de hidrogênio ao qual um elemento podia se combinar. Já na análise do livro B, alguns compostos formados a partir do compartilhamento

de elétrons de acordo com a regra do octeto são abordados no tópico “Compostos formados segundo a regra do octeto”. As moléculas dos gases carbônico e nitrogênio são utilizadas como exemplo apresentando suas respectivas fórmulas molecular, eletrônica e estrutural, número atômico, configuração eletrônica de cada elemento, quantidade de átomos necessários para atingir a configuração eletrônica do gás nobre neônio e como é feito o compartilhamento de elétrons de valência de cada elemento para formar tais moléculas. O livro ainda trás as fórmulas eletrônica e estrutural para representar a formação de cada molécula.

No livro C, os autores apresentam como exemplo a representação de Lewis das substâncias NaCl, CaF₂, K₂O e Al₂O₃ no tópico “Representação das substâncias iônicas”. Nestas representações, demonstradas na Figura 2, os átomos dos elementos estabelecem ligação química a outros átomos de acordo com o número de elétrons que cada um possui em sua camada de valência, onde através da regra do octeto, os átomos irão perder ou ganhar elétrons a fim de adquirirem configuração eletrônica semelhante a um gás nobre e assumir sua carga comum que é adquirida ao realizar ligação química.

Figura 2 - Representação de Lewis apresentadas pelo livro C



Fonte: (SANTOS; MOL, 2016, p. 224)

Ainda em análise do livro C, os autores utilizam outros exemplos relacionados à regra do octeto no tópico “Ligação covalente”. São utilizadas as moléculas dos gases hidrogênio e cloreto de hidrogênio, onde os autores apresentam como ocorre o compartilhamento de elétrons para a formação destas substâncias de acordo com a regra do octeto. O primeiro exemplo apresentado no livro D, encontrado no tópico “A regra do octeto e as ligações químicas”, foi o da substância NaCl, onde de acordo com os autores, os átomos de sódio e cloro se combinam por meio das ligações químicas para que estes consigam dessa forma a estabilidade de um gás nobre. Ainda no livro D, outros exemplos são apresentados ao fim do tema no tópico “A regra do octeto: sua utilidade e algumas exceções”. Neste tópico, os autores afirmam que a regra do octeto pode ser utilizada para entender a formação de ligações químicas entre átomos de algumas moléculas. Como exemplo, a molécula de SO₂ é utilizada, onde são apresentadas suas respectivas fórmulas de Lewis e estruturais, a fim de explicar

como as ligações químicas entre seus átomos ocorrem. Como todos os átomos desta molécula passam a ter oito elétrons em sua camada de valência ao realizar ligação química, esta está de acordo com a regra do octeto.

Já em análise do livro E, pôde ser observado que os autores não utilizam exemplos relacionados à regra do octeto previamente ao estudo das ligações químicas, onde nessas há a utilização de exemplos que serão discutidos posteriormente no tópico “Aplicações da regra do octeto”.

A partir da análise realizada, pode-se afirmar que nos livros em que houve o uso de exemplos de compostos químicos que seguem a regra do octeto, os autores utilizaram substâncias químicas em comum constituídas por carbono ou oxigênio e ainda a substância NaCl (livros B e D). O uso de tais substâncias pode ser explicado pelo fato dos átomos que as constituem seguirem veemente a regra do octeto ao realizarem ligações químicas. Foi observada ainda a relação dos exemplos abordados em todos os livros analisados com o conceito de camada de valência, onde os autores mostraram como as substâncias se formavam hora perdendo, ganhando ou compartilhando elétrons, de acordo com a quantidade de elétrons que cada átomo tinha em sua camada de valência, onde os átomos se ligavam uns aos outros a fim de completar à mesma.

Limitações da regra do octeto

É sabido que a regra do octeto apresenta limitações, podendo ser até considerada por muitos como a própria exceção. Silva (2016) afirma que a “regra do octeto” não é capaz de explicar uma grande quantidade de compostos, onde a consideração desta como “regra” acaba se tornando inviável. Devido a este fato, foi observado durante a análise dos livros se os autores abordaram as limitações ou exceções à regra do octeto durante a definição da mesma ou em sua aplicação nas ligações químicas. Pela análise do livro A, foi possível afirmar que estas limitações são citadas superficialmente, através de exemplos de elementos químicos (nitrogênio, fósforo e cloro) que apresentam valência variável.

Já no livro B, os casos especiais à regra são abordados no tópico “Expansão e contração do octeto”. Em relação à expansão do octeto, os autores afirmam que a ocorrência desta se dá exclusivamente com elementos do terceiro período em diante da tabela periódica e que os elementos do segundo período nunca expandem seu octeto. São utilizadas como exemplos as fórmulas estruturais dos compostos fosfato de hidrogênio, sulfato de hidrogênio, dióxido e trióxido de enxofre. Os autores apresentam as configurações eletrônicas dos

elementos que formam cada composto e como ocorre o compartilhamento de elétrons de valência a fim de se adquirir estabilidade, mostrando como estes contrariam a regra. No caso do fosfato de hidrogênio, por exemplo, o livro afirma que os átomos de oxigênio adquirem o octeto, mas o fósforo não, pois ele fica com dez elétrons em sua camada de valência. Cabe ressaltar que os autores ainda afirmam que todas essas moléculas são perfeitamente estáveis, o que mostra que a regra do octeto é, de fato, apenas uma ferramenta útil em casos específicos.

Já em relação à contração do octeto, os autores afirmam que esta ocorre com elementos do segundo e terceiro período da tabela periódica, trazendo como exemplo deste último, a formação de compostos a partir da ligação química entre alumínio com algum elemento químico classificado como halogênio. São utilizadas como exemplos as fórmulas estruturais dos compostos dicloreto e tricloreto de alumínio, trifluoreto de boro e monóxido de nitrogênio. Os autores aqui apresentam as configurações eletrônicas dos elementos que formam cada composto e como ocorre o compartilhamento de elétrons de valência a fim de se adquirir estabilidade, mostrando como estes contrariam a regra. No caso do dicloreto de berílio, por exemplo, o livro afirma que os átomos de cloro completam o octeto, mas o berílio não, pois este fica com quatro elétrons em sua camada de valência.

É importante ressaltar que, para saber quando uma molécula irá seguir a regra do octeto, o livro B aborda o uso do cálculo de carga formal. Inicialmente, duas possíveis estruturas de Lewis para a molécula de SO_2 são utilizadas como exemplo, onde a estrutura que não segue a regra do octeto é a estrutura correta de acordo com o livro. A fim de explicar o porquê que isto ocorre, os autores utilizam a seguinte fórmula para calcular a carga formal da molécula:

$$\text{Carga formal} = V - (L + 1/2 S)$$

Onde:

V = número de elétrons do átomo livre;

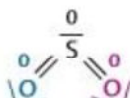
L = número de elétrons presentes nos pares isolados (não ligantes) do átomo na estrutura;

S = número total de elétrons compartilhados pelo átomo na estrutura.

Ainda no livro B, é afirmado que se uma molécula possui mais de uma estrutura de Lewis possível, a estrutura a ser considerada como de real existência será aquela que possuir a menor carga formal para cada átomo de sua molécula. A Figura 3 apresenta o cálculo realizado pelos autores, da carga formal para os átomos de oxigênio e enxofre para as duas possíveis estruturas de Lewis para a molécula de SO_2 .

Figura 3 - Cálculo de carga formal da molécula de SO₂ realizado pelo livro B.

Estrutura 1:



Oxigênio: $L = 4$ (4 elétrons não ligantes)
 $S = 4$ (4 elétrons compartilhados)

$$Cf_o = 6 - (4 + 1/2 \cdot 4) \Rightarrow Cf_o = 0$$

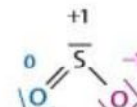
Enxofre: $L = 2$ (2 elétrons não ligantes)
 $S = 8$ (8 elétrons compartilhados)

$$Cf_s = 6 - (2 + 1/2 \cdot 8) \Rightarrow Cf_s = 0$$

Oxigênio: $L = 4$ (4 elétrons não ligantes)
 $S = 4$ (4 elétrons compartilhados)

$$Cf_o = 6 - (4 + 1/2 \cdot 4) \Rightarrow Cf_o = 0$$

Estrutura 2:



Oxigênio: $L = 4$ (4 elétrons não ligantes)
 $S = 4$ (4 elétrons compartilhados)

$$Cf_o = 6 - (4 + 1/2 \cdot 4) \Rightarrow Cf_o = 0$$

Enxofre: $L = 2$ (2 elétrons não ligantes)
 $S = 6$ (6 elétrons compartilhados)

$$Cf_s = 6 - (2 + 1/2 \cdot 6) \Rightarrow Cf_s = +1$$

Oxigênio: $L = 6$ (6 elétrons não ligantes)
 $S = 2$ (2 elétrons compartilhados)

$$Cf_o = 6 - (6 + 1/2 \cdot 2) \Rightarrow Cf_o = -1$$

Fonte: (FONSECA, 2016, p. 209)

Vale ressaltar que, para a justificativa da melhor possibilidade de real existência para uma estrutura de Lewis, o livro trabalha apenas com o uso da fórmula para se obter a carga formal dos átomos que compõem a estrutura da molécula, ou seja, não traz a relação desta com conceitos químicos, mas apenas com cálculos matemáticos. No livro C os autores abordam alguns casos especiais à regra, citando os íons dos metais de transição Fe²⁺, Fe³⁺ e Cu²⁺. A ideia de que a regularidade observada não era de fato uma regra geral, é ainda enfatizada ao abordar a síntese da substância hexafluorplatino de xenônio (XePtF₆), formada pela ligação de átomos de gases nobres e realizada pelo químico inglês Neil Bartlett. Mesmo com restrições, os autores afirmam que a regra do octeto continua sendo utilizada como base para explicar a fórmula e a estrutura de muitas substâncias, como as estudadas no Ensino Médio. Já no livro D, os autores ressaltam que a regra é uma ferramenta útil para encontrar a fórmula química de compostos, mas apresenta muitas exceções, onde não se pode afirmar que as ligações químicas sempre ocorrem para que a camada de valência dos átomos possa adquirir a estabilidade dos gases nobres em seu estado fundamental.

São apresentados exemplos de moléculas que contrariam a regra, com átomos contendo menos ou mais que oito elétrons em sua camada de valência. Para a molécula de PCl₅, é afirmado que esta existe devido a estabilidade adquirida por seus átomos ao se rearranjarem, onde estes se mantêm unidos por meio de ligações covalentes. Outras exceções à regra são apresentadas pelos autores em uma tabela, demonstrada na Figura 4, onde estes explicam estas exceções através da afirmação de que alguns átomos de elementos químicos

classificados como metais podem estabelecer ligações covalentes com ametais, podendo dessa forma adquirir estabilidade com menos de oito elétrons em sua camada de valência.

Figura 4 - Tabela com exemplos de exceções à regra do octeto, apresentada pelo livro D

Exemplos de exceções à regra do octeto		
Fórmulas		
Molecular	Eletrônica (Lewis)	Estrutural
BF_3		
BeF_2		
AlCl_3		

Fonte: (CISCATO; PEREIRA; CHEMELLO; PROTI, 2016, p. 126)

Em análise do livro E, pode-se afirmar que os autores não fazem menção às limitações da regra do octeto. Após a análise realizada em todos os livros, pode-se afirmar que os livros A e C apresentam informações insuficientes para as exceções à regra do octeto, mas vale ressaltar que, o livro C é o único que mostra a possibilidade de formação de substância a partir de um elemento químico classificado como gás nobre. Já os livros B e D fazem uma abordagem mais completa em relação às exceções à regra, associando ao conceito de “contração e expansão do octeto” que é possível para uma grande variedade de elementos químicos quando estes realizam ligação química.

Ressalva-se ainda que no livro B foi realizada uma melhor abordagem para as limitações da regra quando comparado aos demais livros, uma vez que a autora apresentou tópicos separados para a expansão e contração do octeto e ainda mostrou como é possível definir qual a estrutura de Lewis correta para uma molécula, através do cálculo da carga formal. Cabe aqui ressaltar que a autora “peca” ao não fazer uma relação do cálculo da carga formal a conceitos químicos, o que pode levar os alunos a não entenderem o real motivo de tal estrutura poder ser considerada como a de maior estabilidade.

Aplicações da regra do octeto

Durante a análise dos livros ainda foi observado se os autores aplicaram ou não a regra do octeto nas ligações químicas e como foi realizado o uso desta aplicação. Ao analisar o livro A, foi possível observar que os autores aplicaram a regra do octeto apenas para as

ligações covalentes, uma vez que estes se baseiam na ocorrência da atração eletrostática entre íons para explicar as ligações iônicas. Nas ligações covalentes, a ideia do compartilhamento de elétrons da camada de valência a fim de que esta ligação ocorra é utilizada, seguindo desta forma à regra em si.

Figura 5 - Tabela com o padrão seguido por determinados grupos da tabela periódica, apresentada pelo livro A

Grupo	Número de elétrons na camada de valência	Fórmulas dos hidretos
14	4 elétrons	CH ₄ , SiH ₄
15	5 elétrons	NH ₃ , PH ₃ , AsH ₃ , SbH ₃
16	6 elétrons	H ₂ O, H ₂ S, H ₂ Se, H ₂ Te
17	7 elétrons	HF, HCl, HBr, HI

Fonte: (LISBOA *et al.*, 2016, p. 128)

Os autores do livro A apresentam uma tabela, expressa na Figura 5, para demonstrar um padrão que alguns grupos da tabela periódica seguem ao realizarem este tipo de ligação. Nesta, a quantidade de elétrons compartilhados estão de acordo com a regra do octeto, onde o átomo de hidrogênio irá se ligar covalentemente a outro átomo de outro elemento, adquirindo dessa forma configuração do gás nobre hélio, enquanto os átomos dos demais elementos químicos também irão atingir a configuração eletrônica de um gás nobre, com oito elétrons na camada de valência, ao compartilharem seus elétrons com o átomo de hidrogênio. Ainda em análise do livro A, foi observado outro padrão estabelecido pelos autores, que está expresso na Figura 6, onde estes usam o “modelo do octeto” assim como denominado pelos mesmos, para explicarem o comportamento dos elementos químicos da tabela periódica classificados como ametais, ao realizarem ligações covalentes.

Figura 6 - Tabela com o comportamento dos elementos químicos da tabela periódica classificados como ametais, ao realizarem ligações covalentes, apresentada pelo livro A

	Grupos			
	14	15	16	17
Representação de Lewis	$\cdot\ddot{E}\cdot$	$\cdot\ddot{E}\cdot$	$:\ddot{E}:$	$:\ddot{E}:$
Ligações envolvendo um elétron de cada átomo	4	3	2	1
Pares de elétrons disponíveis para fazer ligações coordenadas	0	1	2	3
Número de ligações de acordo com o modelo do octeto	4	3 ou 4	2, 3 ou 4	1, 2, 3 ou 4

Fonte: (LISBOA *et al.*, 2016, p. 130)

Em análise do livro B, pôde ser observado que neste a regra do octeto é aplicada nas ligações iônicas e covalentes. De início a regra é utilizada para explicar o motivo das ligações covalentes se formarem, a partir do uso do exemplo da formação da molécula de gás hidrogênio, onde o átomo de hidrogênio compartilha seu único elétron de valência com outro átomo de hidrogênio, adquirindo dessa forma a configuração eletrônica do gás hélio e, conseqüentemente, sua estabilidade. Já nas ligações iônicas, o livro explica como é dada a ocorrência desta em elementos representativos mais comuns através de uma tabela que pode ser observada na Figura 7.

Figura 7 - Tabela com um resumo sobre como ocorrem às ligações iônicas entre os elementos representativos mais comuns (E), que geralmente (mas nem sempre) seguem a regra do octeto, apresentada pelo livro B

Família	1	2	13	14	15	16	17
Principais elementos	Li, Na, K	Mg, Ca, Sr	Al	Sn, Pb	N, P	O, S	F, Cl, Br, I
Elétrons de valência	1e ⁻ E •	2e ⁻ •E •	3e ⁻ •E •	4e ⁻ •E •	5e ⁻ •E •	6e ⁻ •E •	7e ⁻ •E •
Íon que tende a formar	E ¹⁺	E ²⁺	E ³⁺	E ⁴⁺	E ³⁻	E ²⁻	E ¹⁻

Fonte: (FONSECA, 2016, p. 224)

Como exemplo o livro trás a formação do NaCl de acordo com a regra do octeto. De início as configurações eletrônicas do sódio (Na) e do cloro (Cl) são apresentadas, onde o átomo de sódio possui 1 elétron no último nível de energia (3º nível). Formando o cátion Na¹⁺, seu último nível passa a ser o anterior (2º nível), que já está completo, ou seja, o cátion sódio adquire a mesma configuração eletrônica do gás nobre neônio, enquanto o átomo de cloro possui 7 elétrons no último nível de energia (3º nível). Formando o ânion Cl¹⁻, seu último nível fica completo, ou seja, adquire a mesma configuração eletrônica do gás nobre argônio.

Em análise do livro C, foi possível observar que a regra do octeto é aplicada tanto nas ligações iônicas quanto nas ligações covalentes. As ligações químicas classificadas como iônicas são explicadas a partir da diferença de eletronegatividade dos átomos, mas os autores afirmam que as teorias relacionadas às forças de atração e repulsão das partículas atômicas não podem explicar todos os tipos de ligação, onde a partir disso é feita a aplicação da regra do octeto. De início, o livro apresenta algumas informações prévias ao estudo das ligações químicas, que podem ser vistas na Figura 8, sobre as cargas geralmente assumidas por átomos de elementos representativos da tabela periódica, assim como expresso também no livro B.

Figura 8 - Tabela com a carga comumente assumida pelos átomos de elementos representativos, apresentada pelo livro C

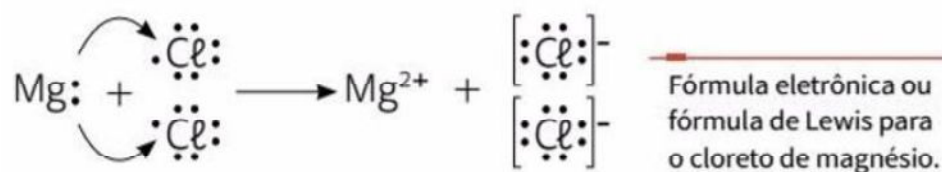
CARGAS COMUMENTE ASSUMIDAS POR ÁTOMOS DOS ELEMENTOS REPRESENTATIVOS							
Grupo	1	2	13	14	15	16	17
Carga	1 ⁺	2 ⁺	3 ⁺	4 ⁺	3 ⁻	2 ⁻	1 ⁻

Fonte: (SANTOS; MOL, 2016, p. 224)

A regra do octeto é então utilizada para representar as substâncias iônicas, através de suas estruturas de Lewis, com a representação dos elétrons constituintes da camada de valência dos átomos que estão diretamente relacionados à forma com que estes irão estabelecer ligações químicas. Já nas ligações covalentes, o livro C pauta sua definição inicial com o conceito de eletronegatividade dos átomos, utilizando como exemplo a ligação formada por dois átomos de hidrogênio, assim como no livro B. Mesmo utilizando tal conceito, os autores afirmam que o compartilhamento de elétrons destes átomos faz com esses fiquem com a eletrosfera semelhante ao do átomo de hélio, o que vai de acordo com a regra do octeto. Dessa forma, a regra é utilizada para explicar a ocorrência do compartilhamento de elétrons de átomos de algumas moléculas, bem como os diferentes tipos de ligação covalente que estas podem formar, como a ligação covalente simples, dupla, tripla e coordenada, assim como afirmado pelos autores.

A partir da análise do livro D, pode-se afirmar que neste os autores abordam a regra do octeto tanto nas ligações iônicas quanto nas ligações covalentes. Para as ligações iônicas, são utilizadas como exemplos as substâncias fluoreto de cálcio e óxido de alumínio, onde foram demonstradas suas respectivas fórmulas de Lewis e a quantidade de elétrons que cada átomo perde ou ganha a fim de adquirir valência completa. Os autores ainda fazem algumas generalizações para os elementos que constituem os grupos dos metais alcalinoterrosos (formam íons de carga +2), calcogênios e halogênios (formam íons de carga -2 e -1 respectivamente), afirmando que estes seguem a regra do octeto. Já para as ligações covalentes, estes fazem o uso do exemplo da formação da molécula do gás hidrogênio, assim como nos livros B e C, abordando a regra como o motivo da ocorrência deste tipo de ligação química ocorrer.

Figura 9 – Representação De Lewis para o MgCl_2 , apresentada pelo livro E



Fonte: (NOVAIS; ANTUNES, 2016, p. 123)

Já o livro E também faz o uso da aplicação da regra do octeto nas ligações iônicas e covalentes. Na ligação iônica, os autores aplicam a regra ao utilizarem o exemplo da ligação iônica formada no NaCl , assim como no livro B, e no cloreto de magnésio (MgCl_2). Para o MgCl_2 , o livro afirma que o magnésio (Mg) precisa perder 2 elétrons para completar seu octeto, enquanto o Cl precisa receber 1 elétron. Como visto na Figura 9, a representação de Lewis é utilizada para demonstrar tal ligação, onde são necessários 2 átomos de Cl para 1 de Mg.

Figura 10 – Esquema utilizado pelo livro E para representar a transferência de elétrons entre Mg e Cl

Esquema simplificado da transferência de elétrons na ligação entre Mg e Cl			
	Mg	Cl	Cl
Antes da ligação	12 p ⁺ 12 e ⁻	17 p ⁺ 17 e ⁻	17 p ⁺ 17 e ⁻
Depois da ligação	12 p ⁺ 10 e ⁻	17 p ⁺ 18 e ⁻	17 p ⁺ 18 e ⁻

Arrows indicate the transfer of 2 e⁻ from Mg to the first Cl and 1 e⁻ from Mg to the second Cl.

Fonte: (NOVAIS e ANTUNES, 2016, p. 123)

O livro E ainda apresenta um esquema que pode ser visualizado na Figura 10, para demonstrar como ocorre a transferência de elétrons entre o Mg e o Cl. Já nas ligações covalentes, o livro E também faz a aplicação da regra para explicar como esse tipo de ligação ocorre entre os átomos. São utilizados como exemplos os gases cloro, metano, dióxido de carbono, nitrogênio e dióxido de enxofre. Para cada um dos exemplos trabalhados, os autores trazem uma tabela com o elemento, sua distribuição eletrônica e a quantidade de elétrons que este “precisa” compartilhar para atingir seu octeto, assim como expresso na Figura 11.

Figura 11 – Tabela utilizada livro E contendo a distribuição eletrônica e a quantidade de elétrons que determinado elemento precisa para atingir seu octeto

Elemento	Distribuição eletrônica			Para atingir o octeto
$_{17}\text{Cl}$	2	8	7	falta 1 elétron

Fonte: (NOVAIS e ANTUNES, 2016, p. 125)

Figura 12 – Tabela utilizada pelo livro E contendo a distribuição eletrônica e a quantidade de elétrons que determinado elemento precisa para atingir seu octeto

	Ligação covalente	Exemplo	
Grupo 17 (átomos precisam de 1 e ⁻ para atingir o octeto) $\cdot\ddot{E}\cdot$		$-E$	$H-Cl$
		$-E\rightarrow$	$H-O-Cl\rightarrow O$
		$\uparrow$ $-E\rightarrow$	$\begin{array}{c} O \\ \uparrow \\ H-O-Cl\rightarrow O \end{array}$
		$\uparrow$ $-E-$ $\downarrow$	$\begin{array}{c} O \\ \uparrow \\ H-O-Cl\rightarrow O \\ \downarrow \\ O \end{array}$
	Ligação iônica	E^-	F^-, Cl^-, Br^-, I^-
Grupo 16 (átomos precisam de 2 e ⁻ para atingir o octeto) $\cdot\ddot{E}\cdot$		$-E-$	$H-S-H$
		$\uparrow$ $-E-$	$\begin{array}{c} O \\ \uparrow \\ H-O-S-O-H \end{array}$
		$\uparrow$ $-E-$ $\downarrow$	$\begin{array}{c} O \\ \uparrow \\ H-O-S-O-H \\ \downarrow \\ O \end{array}$
	Ligação iônica	E^{2-}	O^{2-}
	Ligação iônica e covalente	$-E^-$	$H-O^-$
Grupo 15 (átomos precisam de 3 e ⁻ para atingir o octeto) $\cdot\ddot{E}\cdot$		$-E-$ $ $	$\begin{array}{c} H-N-H \\ \\ H \end{array}$
		$\uparrow$ $-E-$ $ $	$\begin{array}{c} O \\ \uparrow \\ H-O-P-O-H \\ \\ O-H \end{array}$
Grupo 14 (átomos precisam de 4 e ⁻ para atingir o octeto) $\cdot\ddot{E}\cdot$		$ $ $-E-$ $ $	$\begin{array}{c} H \\ \\ H-C-H \\ \\ H \end{array}$

Fonte: (NOVAIS; ANTUNES, 2016, p. 129)

Ainda no livro E, os autores trazem um quadro com algumas generalizações sobre as ligações iônicas e covalentes que podem ocorrer, de acordo com a regra do octeto, por átomos de determinados grupos da tabela periódica. O quadro utilizado está expresso na Figura 12. Após a realização da análise, afirma-se que a regra do octeto foi aplicada pelos autores nas ligações iônicas e covalentes em todos os livros, sendo excludente o livro A, onde houve a

aplicação da regra apenas para as ligações covalentes. Outro fato observado foi o de que em todos os livros em que houve a aplicação da regra do octeto, os autores a relacionaram à teoria de que os átomos tendem a estabelecer ligações químicas, perdendo, ganhando ou compartilhando elétrons, a fim de adquirirem configuração eletrônica de gás nobre, sendo dessa forma estáveis.

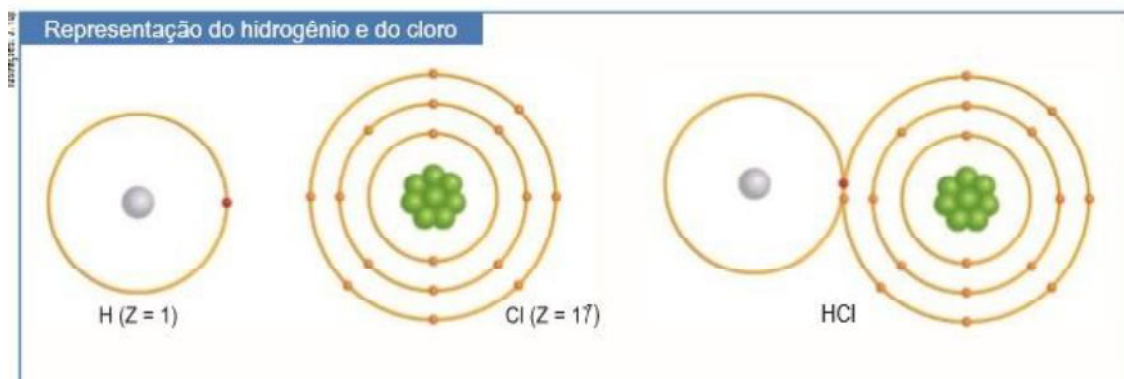
Pôde ser observado ainda que os autores estabeleceram padrões que os átomos tendem a seguir ao realizarem ligação química. Nos livros A e E, foram citados os grupos 14 a 17 da tabela periódica, enquanto nos livros B e C, os elementos representativos dos grupos 1, 2, 13, 14, 15, 16 e 17 foram abordados. Já o livro D apresentou um padrão seguido apenas pelos grupos 2, 16 e 17. Para os exemplos em que a regra do octeto foi aplicada, observou-se que todos os livros utilizaram a formação da ligação da molécula de hidrogênio nas ligações covalentes. Silva (2016) afirma que tal molécula pode ser considerada como a de mais fácil estudo, onde suas ligações químicas são majoritariamente covalentes. Isto explica o uso do exemplo por todos os autores, da formação de tal molécula. Já os livros B e E utilizaram a formação do NaCl como exemplo nas ligações iônicas, que é comumente abordado quando se trata de tal tipo de ligação.

Imagens relacionadas à regra do octeto

O último aspecto a ser analisado foi se os autores utilizaram imagens para a explicação do conceito relacionado à regra do octeto ou durante a aplicação deste nas ligações químicas. Como resultado da análise, pode-se afirmar que os livros C, D e E utilizaram imagens que estavam relacionadas à regra do octeto. No livro C, os autores representam o compartilhamento de elétrons entre os átomos de hidrogênio e cloro através da Figura 13, demonstrando que estes seguem à regra do octeto, formando assim uma molécula de cloreto de hidrogênio. Em análise da figura utilizada, pode-se afirmar que esta apresenta os átomos de hidrogênio e cloro através do modelo atômico de Bohr, uma vez que os elétrons que constituem cada átomo estão distribuídos em níveis de energia.

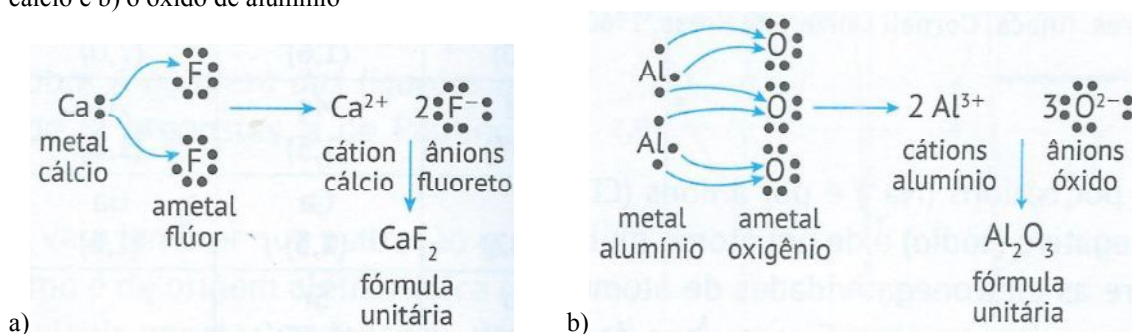
Em análise do livro D, os autores utilizam as Figuras 14a e 14b para representar as ligações iônicas dos átomos e as Figuras 15 e 16 para representar as ligações covalentes, todas relacionadas à regra do octeto. Nas Figuras 14a e 14b, o livro mostra como ocorre a formação da ligação iônica, bem como a quantidade de elétrons que cada átomo possui em sua camada de valência e ainda o sentido da transferência de elétrons entre os átomos.

Figura 13 – Representação feita pelo livro C, do compartilhamento de elétrons entre os átomos de hidrogênio e cloro



Fonte: (SANTOS; MOL, 2016, p. 229)

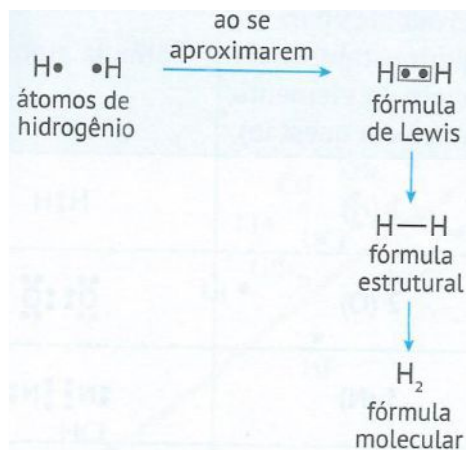
Figura 14 – Representação pelo livro D, da ligação iônica utilizando a fórmula de Lewis para a) o fluoreto de cálcio e b) o óxido de alumínio



Fonte: (CISCATO; PEREIRA; CHEMELLO; PROTI, 2016, p. 120)

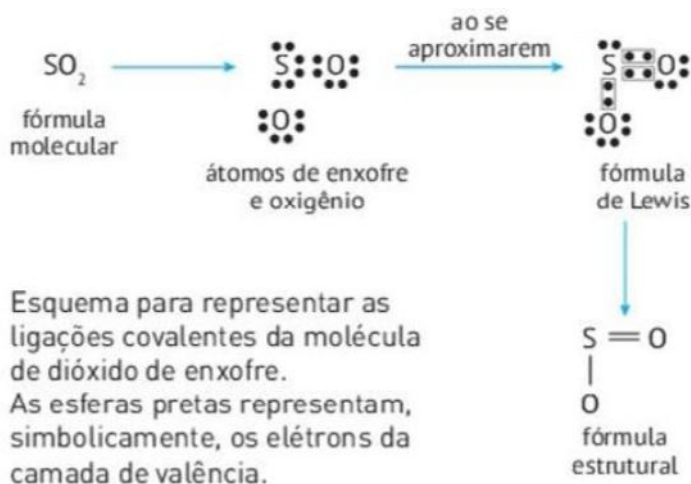
Já nas Figuras 15 e 16, é representado o compartilhamento de elétrons entre os átomos durante a ocorrência das ligações covalentes e os elétrons que cada átomo possui em sua camada de valência, assim como demonstrado nas ligações iônicas.

Figura 15 – Representação pelo livro D, da ligação covalente entre os átomos de hidrogênio utilizando a fórmula de Lewis



Fonte: (CISCATO; PEREIRA; CHEMELLO; PROTI, 2016, p. 121)

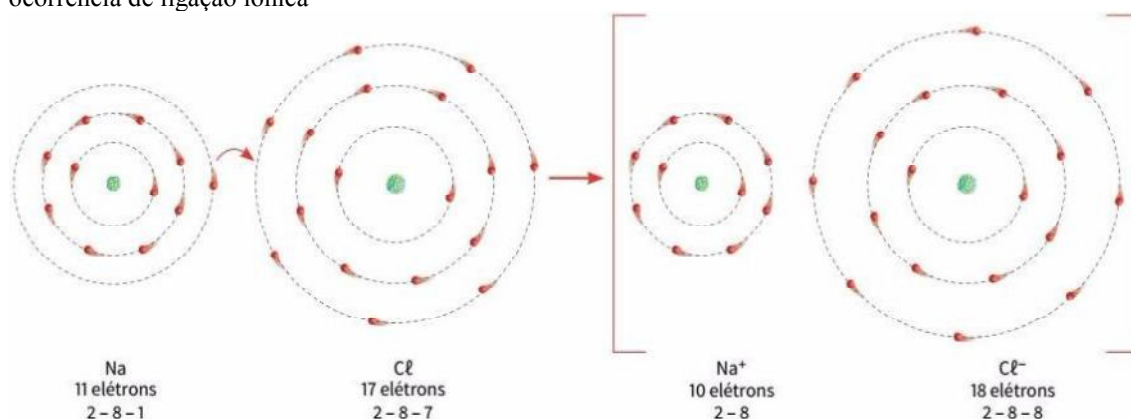
Figura 16 - Esquema utilizado pelo livro D para representar as ligações covalentes da molécula de dióxido de enxofre



Fonte: (CISCATO; PEREIRA; CHEMELLO; PROTI, 2016, p. 126)

O livro E apresenta a Figura 17 a fim de demonstrar como ocorre a transferência de elétrons entre os átomos de sódio e cloro, durante a ocorrência da ligação iônica entre estes, originando na formação do NaCl. O modelo atômico de Bohr foi utilizado como forma de representação para cada átomo, assim como visto no livro C, mas aqui em um exemplo de ligação iônica. Há a representação dos níveis energéticos dos átomos, bem como dos elétrons que os constituem, mostrando que o átomo de sódio “transfere” um de seus elétrons para o átomo de cloro e assume a configuração eletrônica do gás nobre neônio. Já o cloro, ao receber um elétron, adquire a configuração do gás nobre argônio, assim de acordo com a regra do octeto.

Figura 17 - Representação pelo livro E, da transferência de elétrons entre os átomos de sódio e cloro, durante a ocorrência de ligação iônica



Fonte: (NOVAIS; ANTUNES, 2016, p. 121)

A partir da análise das figuras em que a regra do octeto foi abordada, pode-se afirmar que os livros C e E utilizaram o modelo atômico de Bohr como forma de representar os

átomos e a quantidade de elétrons de cada um. O livro C utilizou tal modelo para representar um exemplo de ligação covalente, enquanto o livro E realizou tal emprego para um exemplo de ligação iônica. Este modelo pode ter sido utilizado devido este conseguir demonstrar a ocorrência das ligações químicas de acordo com a regra do octeto, uma vez que o nível energético que cada átomo assume ao estabelecerem certas ligações são de fato representados.

Já o livro D utiliza da fórmula de Lewis nos esquemas que constituem as imagens em que a regra do octeto é abordada, tanto nas ligações iônicas quanto nas ligações covalentes. Tais esquemas vão de acordo com a regra, uma vez que estes conseguem demonstrar como as ligações químicas entre os átomos ocorrem, onde há a transferência de elétrons ou o compartilhamento destes de acordo com a quantidade de elétrons que cada uma possui em sua camada de valência.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Diferentes autores têm apresentado críticas à ênfase dada pelos professores de Química para o uso exclusivo da regra do octeto para justificar a ocorrência de ligações químicas (MORTIMER; MÓL; DUARTE, 1994; MILARÉ, 2007; SILVA, 2016), propondo analisar a energia mínima envolvida na interação entre os átomos, significando o conceito de ligação de maneira mais articulada a formar o pensamento químico, em função do caráter submicroscópico (COSTA-BEBER; MALDANER, 2009). Visando compreender como essa abordagem é feita nos seis livros didáticos de Química aprovados no PNLD 2018, neste trabalho monográfico foi possível verificar que a maior parte dos livros, faz o uso da regra do octeto para explicar os conceitos de ligações químicas, sendo excludente apenas um dos livros que utiliza conceitos relacionados à energia. Neste livro (livro F), os autores justificam a ocorrência da ligação química no sentido de diminuição da energia do sistema. Para explicar as ligações covalentes, os autores deste livro estabelecem que as substâncias são formadas buscando a estabilidade do estado energético; enquanto que nas ligações iônicas não há a formação de moléculas individuais, mas sim de retículos cristalinos que são resultantes das atrações eletrostáticas entre os íons. Considera-se que esta abordagem utilizada neste livro, de acordo com a literatura consultada, foi a mais acertada devido considerar de fato os conceitos relacionados à energia para explicar a ocorrência das ligações químicas.

Para compreender a abordagem da regra do octeto nos demais livros, analisou-se as definições, os aspectos históricos, os exemplos, as limitações, as aplicações e as imagens utilizadas em cada obra. Sobre as definições, verificou-se que nos cinco livros, houve uma relação desta com a ideia de que os átomos dos elementos químicos estabelecem ligações químicas para adquirirem configuração eletrônica semelhante a um gás nobre em seu estado fundamental. Os livros A, B, D e E defendem a teoria de como os átomos completam sua camada de valência durante a realização das ligações químicas para adquirir estabilidade eletrônica. Além disso, observou-se nos livros B, D e E o uso de características antropomórficas para as ligações químicas, ou seja, atribuindo vontades e sentimentos humanos – como querer ganhar ou perder, às entidades inanimadas.

Sobre a abordagem histórica da regra do octeto, verificou-se que os livros não citam apenas Lewis, como normalmente é atribuída a responsabilidade pela elaboração da teoria, mas citam as contribuições de diversos cientistas como Abegg, Langmuir e Kossel, dentre outros. O livro D foi o que apresentou um maior detalhamento desde a criação das primeiras teorias até o estabelecimento da regra. Já outros livros trazem a história em caixas com pouca

articulação ao texto. Com exceção do livro A, que aplica a regra do octeto apenas para as ligações covalentes, os outros livros apresentam aplicações da regra também para as ligações iônicas. Nenhum dos livros analisa a ligação metálica a partir da regra do octeto. Outro fato observado foi o de que os autores relacionaram a regra à teoria de que os átomos tendem a estabelecer ligações químicas a fim de adquirirem configuração eletrônica de gás nobre. Pôde ser observado ainda que os autores estabeleceram padrões que os átomos tendem a seguir ao realizarem ligação.

Sobre os exemplos de compostos que seguem a regra, verificou-se a priorização do carbono, oxigênio e hidrogênio, para os compostos covalentes e sódio e cloro para os compostos iônicos. Todos os exemplos abordados foram relacionados ao conceito de camada de valência. Em relação às limitações da regra do octeto, foi possível afirmar que os livros A e C apresentaram informações insuficientes, entretanto, o livro C foi o único a mostrar a possibilidade de formação de substância a partir de um elemento químico classificado como gás nobre. Os livros B e D trazem uma abordagem mais completa, mostrando exceções à regra, apresentando o conceito de contração e expansão do octeto e ainda explicando como é possível definir qual a estrutura de Lewis correta para uma molécula, através do cálculo da carga formal. Sobre as imagens relacionadas à regra do octeto, identificou-se nos livros C e E o uso do modelo atômico de Bohr como forma de representar os átomos e a quantidade de elétrons em cada átomo. Já o livro D utilizou-se da fórmula de Lewis nos esquemas usados para demonstrar como as ligações químicas ocorrem entre os átomos.

Diante desta análise, verifica-se que a regra do octeto continua sendo um recurso muito utilizado pela maioria dos autores dos livros didáticos e, conseqüentemente, continuará sendo usada pelos professores nas aulas de Química. Compreende-se que a regra continua sendo um procedimento importante para prever a valência e as fórmulas dos compostos químicos, entretanto não deveria ser utilizada para a memorização ou como única resposta para a formação, estabilidade e propriedades dos compostos, desconsiderando explicações que envolvem as variações de energia na formação de ligações entre átomos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ATKINS, P. JONES, L. Princípios de Química: questionando a vida moderna e o meio ambiente. Porto Alegre: 3. Ed. Bookman, 2006. p. 170.

BRASIL. Ministério da Educação. PNLD - Programa Nacional do Livro Didático. Disponível em: <http://portal.mec.gov.br/busca-geral/318-programas-e-acoes-1921564125/pnld-439702797/12391-pnld>. Acesso em junho de 2018.

BROWN, T. L.; LEMAY JÚNIOR, H. E.; BURSTEN, B. E. Química, a ciência central. São Paulo: Prentice Hall, 2005. p. 253.

CÂNDIDO, K. F.; MATA, V. C. C.; COSTA, L. S. O.; MARQUES, L. P. Análise da abordagem contextual no conteúdo de Ligações Químicas em livros didáticos aceitos pelo PNLD-2012. In: XVI Encontro Nacional de Ensino de Química (XVI ENEQ) e X Encontro de Educação Química da Bahia (X EDUQUI), 2012, Salvador. **Anais**, Disponível em: <https://portalseer.ufba.br/index.php/anaiseneq2012/article/viewFile/7913/5195>. Acesso em junho de 2018.

CANZIAN, R.; MAXIMIANO, F. A. Princípio de Le Chatelier O Que Tem Sido Apresentado em Livros Didáticos? **Química Nova na Escola**, 32 (2), 2010.

CARVALHO, A. S.; BUENO, S. G.; SILVA, A. F. A. Concepções dos estudantes sobre o conceito de ligação química. In: VII Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências (VII ENPEC), 2009, Florianópolis. **Anais**, Disponível em: <http://posgrad.fae.ufmg.br/posgrad/viiienpec/pdfs/1208.pdf>. Acesso em junho de 2018.

CISCATO, C. A. M.; CHEMELLO, E.; PEREIRA, L. F.; PROTI, P. B. Química. São Paulo: 1. Ed. Moderna, 2016. p. 116-126.

COSTA-BEBER, L. B.; MALDANER, O. A. Níveis de significação de conceitos e conteúdos escolares químicos no Ensino Médio: compreensões sobre ligações químicas. **VIDYA**, 29 (2), 2009.

FONSECA, M. R. M. Química: ensino médio. São Paulo: 2. Ed. Ática, 2016. p. 203-275.

GUGLIOTTI, M. Irving Langmuir: o milagre da ciência. **Química Nova**, 24 (4), 2001.

LEMES, A.; F.; G.; SOUZA, K. A. F. D.; CARDOSO, A. A. Representações para o Processo de Dissolução em Livros Didáticos de Química: o Caso do PNLEM. **Química Nova na Escola**, 32 (3), 2010.

LIMA, J. C.; LUZ, L. F. G.; SILVA, J. P.; TEIXEIRA JÚNIOR, J. G. Análise das aplicações da regra do octeto no conteúdo de ligação química nos livros didáticos aprovados pelo PNLD 2015. In: III Simpósio Mineiro de Educação Química. **Anais...** Juiz de Fora, 2015, p. 1-2.

LIMA, T. C. S.; MIOTO, R. C. T. Procedimentos metodológicos na construção do conhecimento científico: a pesquisa bibliográfica. **Revista Katál**, 10, 2007.

LISBOA, J. C. F.; BRUNI, A. T.; NERY, A. L. P.; BIANCO, A. A. G.; RODRIGUES, H.; SANTINA, K.; BEZERRA, L. M.; BIANCO, P. A. G.; LIEGEL, R. M.; ÁVILA, S. G.; YDI,

S. J.; LOCATELLI, S. W.; AOKI, V. L. M. Ser protagonista: química, 1º ano. São Paulo: 3. Ed. Edições SM, 2016. p. 120-133.

LOGUERCIO, R. Q.; SAMRSLA, V. E. E.; DEL PINO, J. C. A dinâmica de analisar livros didáticos com os professores de química. **Química Nova**, 24 (4), 2001.

LUCKESI, C. C. Avaliação da aprendizagem escolar. 14 ed. São Paulo: Cortez, 2002.

LUZ, L. F. G.; SILVA, J. P.; LIMA, J. C.; TEIXEIRA JÚNIOR, J. G. Análise de aspectos históricos relacionados ao conteúdo de ligação química nos livros aprovados no PNLD 2015. In: III Simpósio Mineiro de Educação Química. **Anais...** Juiz de Fora, 2015, p. 1-2.

MACHADO, A. H.; MORTIMER, E. F. Química: ensino médio. São Paulo: 3. Ed. Scipione, 2016. p. 260-272.

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**, 33 (2), 2011.

MATOS, A. C. S.; TEIXEIRA, D. D.; SANTANA, I. P.; SANTIAGO, M. A.; PENHA, A. F.; MOREIRA, B. C. T.; CARVALHO, M. F. A. Nomenclatura de compostos orgânicos no Ensino Médio: influência das modificações na legislação a partir de 1970 sobre a apresentação no livro didático e as concepções de cidadãos. **Química Nova na Escola**, 31 (1), 2009.

MENDONÇA, P. C. C.; JUSTI, R.; OLIVEIRA, M. M. Analogias sobre ligações químicas elaboradas por alunos do ensino médio. **Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências**, 6 (1), 2006.

MILARÉ, T. Ligações iônica e covalente: relações entre as concepções dos estudantes e dos livros de Ciências. In: VI Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências, 2007, Florianópolis. **Atas...** Florianópolis, 2007.

MORI, R. C.; CURVELO, A. A. S. O grau de participação requerido dos estudantes em atividades experimentais de Química: Uma análise dos livros de Ciências aprovados no PNLD/2007. **Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências**, 13 (1), 2013.

MORTIMER, E. F.; MOL, G.; DUARTE, L. P. Regra do octeto e teoria da Ligação Química no Ensino Médio: Dogma ou Ciência? **Química Nova**, 17 (2), 1994.

NOVAIS, V. L. D.; ANTUNES, M. T. Vivá química: volume 1: ensino médio. Curitiba: 1. Ed. Positivo, 2016. p. 120-135.

OKI, M. C. M.; MORADILLO, E. F. O ensino de história da química: contribuindo para a compreensão da natureza da ciência. **Ciência e Educação**, 14 (1), 2008.

OLIVEIRA, M. M. Como fazer pesquisa qualitativa. Petrópolis, Vozes, 2007.

ORLANDI, E. P. A linguagem e seu funcionamento: As formas do Discurso. 4ed. Campinas, SP: Pontes, 2003.

PEREIRA, J. E.; NÚÑEZ, I. B. Gráficos cartesianos nos livros didáticos de Química do PNLD 2012. In: IX Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências – IX ENPEC,

2013, Águas de Lindóia. **Atas**, Disponível em:

<http://www.nutes.ufrj.br/abrapec/ixenpec/atas/resumos/R0220-1.pdf>. Acesso em junho de 2018.

SÁ, L. P.; GARRITZ, A. Análise de uma sequência didática sobre ligações químicas produzida por estudantes de química brasileiros em formação inicial. **Educação Química**, 25 (4), 2014.

SANTOS, S. M. O. Critérios para a avaliação de livros didáticos de Química para o Ensino Médio. 2006. 234 f. **Dissertação** (Mestrado em Ensino de Ciências – área de concentração “Ensino de Química”) – Universidade de Brasília, Brasília.

SANTOS, W. L. P.; CASTRO, E. N. F.; SILVA, G. S.; MÓL, G.; MATSUNAGA, R. T.; OLIVEIRA, S. M.; FARIAS, S. B.; DIB, S. M. F. Química cidadã: volume 1: química: ensino médio, 1ª série. São Paulo: 3. Ed. AJS, 2016. p. 218-232.

SILVA, C. M.; SANTOS, C. G.; MENDONÇA, P. C. C. Análise da História da Ciência em livros didáticos de Química aprovados no PNLD 2012. In: IX Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências – IX ENPEC, 2013, Águas de Lindóia. **Atas**, Disponível em: <http://www.nutes.ufrj.br/abrapec/ixenpec/atas/resumos/R1017-1.pdf>. Acesso em junho de 2018.

SILVA, F. I.; SIQUEIRA NETO, E.; LIMA, J. A.; SILVA, M. C.; LUNA, A. F.; MATOS, J. M. E. Uma visão crítica: da energia de Gibbs nos livros didáticos. In: 3o Congresso Norte-Nordeste de Ensino de Química, **Anais...** Natal, 2013, p. 1-5.

SILVA, J. P.; LIMA, J. C.; LUZ, L. F. G.; TEIXEIRA JÚNIOR, J. G. Os livros didáticos de Química aprovados pelo PNLD 2015 e a abordagem da regra do octeto em capítulos de ligação química. In: XVIII Encontro Nacional de Ensino de Química, **Anais...** Florianópolis, 2016, p. 1.

SILVA, R. P. O ensino de ligações químicas por meio do conceito de energia: uma proposta didática para o Ensino Médio. 2016. 145 f. **Dissertação** (Mestrado em Ensino de Ciências e Matemática) – Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia.

SILVA, R. P.; MARQUES, D. M. O ensino de ligações químicas por meio do conceito de energia: uma proposta didática para o Ensino Médio. In: XVIII Encontro Nacional de Ensino de Química (XVIII ENEQ), 2016, Florianópolis. **Anais**, Disponível em: <http://www.eneq2016.ufsc.br/anais/resumos/R1025-1.pdf>. Acesso em junho de 2018.

SILVEIRA JÚNIOR, C.; LIMA, M. E. C.; MACHADO, A. H. Abordagem de ligações químicas em livros didáticos de ciências aprovados no PNLD 2011. Disponível em: <http://www.nutes.ufrj.br/abrapec/viiienpec/resumos/R0454-1.pdf>. Acesso em junho de 2018.

STADLER, J. P.; SOUZA JÚNIOR, F. S.; GEBARA, M. J. F.; HUSSEIN, F. R. G. S. Análise de obstáculos epistemológicos em livros didáticos de Química do Ensino Médio do PNLD 2012. **HOLOS**, 2, 2012.

SUBRAMANIAN, N.; M. FILHO, A. V.; SALDANHA, T. C. B. Tópicos em ligação química II – sobre o mérito da regra do octeto. **Química Nova**, 12 (3), 1989.

SZYCHTA, A. L. Ligações químicas em livros didáticos de Química do PNLD-2015: análise de conteúdo sobre um olhar das concepções alternativas. 2015. 69 f. **Trabalho de conclusão de curso** (Curso Superior de Bacharelado e Licenciatura em Química Tecnológica do Departamento Acadêmico de Química e Biologia) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR), Curitiba.

TAVARES, L. H. W. Possibilidades de deformação conceitual nos livros didáticos de Química brasileiros: o conceito de substância. **Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias**, 8 (3), 2009.

TRINDADE, J. O.; HARTWIG, D. R. Uso combinado de mapas conceituais e estratégias diversificadas de ensino: uma análise inicial das ligações químicas. **Química Nova na Escola**, 34 (2), 2012.

WARTHA, E. J.; FALJONI-ALÁRIO, A. A contextualização do Ensino de Química através do livro didático. **Química Nova na Escola**, 22, 2005.