

AS REPRESENTAÇÕES DE DIAGRAMAS DE NÍVEIS DE ENERGIA DOS ELÉTRONS EM LIVROS DIDÁTICOS DE QUÍMICA – 1960/1970

THE REPRESENTATIONS OF ELECTRONS ENERGY LEVEL DIAGRAMS IN CHEMISTRY SCHOOL BOOKS - 1960/1970

Reginaldo Alberto Meloni  

Universidade Federal de São Paulo (UNIFESP)

✉ meloni@unifesp.br

André Amaral Gonçalves Bianco  

Universidade Federal de São Paulo (UNIFESP)

✉ andre.bianco@unifesp.br

RESUMO: Neste trabalho serão apresentados alguns resultados de um projeto de pesquisa que tem como objetivo analisar, em uma perspectiva histórica, as relações entre o discurso e o currículo na construção do conhecimento de Química no ensino secundário. Para isso, foram interpretadas as ilustrações do esquema de energia proposto originalmente por Linus Pauling (1939) e as articulações dessas imagens com os respectivos textos em livros didáticos publicados no Brasil entre 1960 e 1970, uma vez que foi nessa década que o tema ganhou destaque nos currículos de Química. Para a realização dessa análise foram consideradas as noções de história propostas por Foucault (2019) e duas das categorias propostas por Perales e Jiménez (2002): a função da imagem na lição e o grau de iconicidade. Os resultados apontaram que, na maioria das vezes, as imagens foram utilizadas com a função de descrição da estrutura da matéria e comportavam um baixo grau de iconicidade, exigindo um alto nível de conhecimento do código simbólico utilizado. Além disso, foi verificado que, ao longo da década de 1960, houve uma transformação das funções pedagógicas das imagens, ou seja, nas obras publicadas no início da década as imagens eram usadas como um complemento da explicação da energia dos elétrons, mas, aos poucos, foram sendo inseridas para representarem supostos espaços existentes no átomo a serem ocupados por elétrons.

PALAVRAS-CHAVE: História do ensino. Currículo de Química. Diagrama de Linus Pauling.

ABSTRACT: This paper will present some results of a research project which aims to analyze, from a historical perspective, the relations between discourse and curriculum in the construction of Chemistry knowledge in secondary education. For this purpose, both the illustrations of the energy scheme originally proposed by Linus Pauling (1939) and the articulations of these images with the respective texts in textbooks published in Brazil between 1960 and 1970 were interpreted, since it was in this decade that the theme gained prominence in the Chemistry curricula. In order to carry out this analysis, the notions of history proposed by Foucault (2019) as well as two of the categories proposed by Perales and Jiménez (2002) were considered: the function of the image in the lesson and the degree of iconicity. The results pointed out that, in most cases, the images were used with the function of describing the structure of the matter and carried a low degree of iconicity, requiring a high level of knowledge of the symbolic code used. Furthermore, it was found that throughout the 1960s there was a transformation of the pedagogical functions of the images, that is, in the papers published at the beginning of the decade, the images were used as a complement to the explanation of the energy of electrons, but gradually they were inserted to represent spaces inside the atoms that are supposedly fulfilled by electrons.

KEY WORDS: History of teaching. Chemistry Curriculum. Linus Pauling diagram.

Introdução

O caráter da relação entre os conhecimentos que são elaborados pelas ciências de referência e aqueles que são ensinados na escola é tema de muitas teorias. A própria ideia de que existam dois tipos de conhecimentos, o científico e o escolar, é uma questão em debate. Se nos anos de 1950 predominava a ideia de que o ensino deveria atentar para a estrutura das ciências (Bruner, 1978), na década de sessenta o currículo foi pensado em suas articulações com o contexto sociocultural em que era praticado. Trabalhos como os de Andre Chervel (1990), Ivor Goodson (1997, 2003) e Tim Rudd e Ivor Goodson (2016) desenvolveram teorias sobre o caráter do currículo nas quais procuraram articular o conhecimento elaborado fora da escola com as apropriações realizadas no âmbito das práticas pedagógicas.

Os trabalhos de Andre Chervel priorizaram os aspectos culturais desse processo enquanto que as análises de Ivor Goodson se concentraram nas relações sociais. No entanto, os dois autores procuraram entender os processos de construção curricular em uma perspectiva histórica, uma vez que dessa forma seria possível perceber as escolhas que determinaram as mudanças e as permanências do currículo ao longo do tempo.

Outros autores, como Yves Chevallard (1997), partiram da premissa de que ocorre um processo de mudança no caráter do conhecimento durante o processo educativo e elaboraram teorias para explicar como se daria a “transposição didática” de um saber escolhido (saber a ensinar) para o conhecimento escolar (objeto de ensino).

Em todos esses casos, as teorias se baseiam na ideia de que o currículo é planejado em uma instância e apropriado (ou praticado ou vivenciado) em outra. A possibilidade de que haja uma articulação entre instâncias independentes supõe que todo conteúdo conceitual trabalhado na escola tem uma origem fora dela, mesmo admitindo que esse conteúdo sofra algum tipo de mudança ou apropriação, no sentido atribuído por Certeau (1994), de produção (e não de reprodução) pelo uso.

No entanto, o processo educativo pode estar envolvido em situações ainda mais complexas e não se reduzir às possíveis articulações entre os conhecimentos de referência e as apropriações relacionadas aos aspectos socioculturais. Em trabalho anterior Bianco e Meloni (2019) identificaram que no caso do ensino dos níveis de energia da eletrosfera do átomo houve significativas diferenças entre o que foi proposto originalmente por Linus Pauling, em seu artigo de 1939 e as exposições realizadas especialmente por autores de livros didáticos brasileiros na década de 1960, período que esse tema passou a ser abordado no nível secundário.

Entre essas diferenças está, por exemplo, a inversão da imagem dos orbitais no esquema de energia que, em 1939, Pauling apresentou em ordem crescente, ou seja, com os orbitais de menor energia na parte inferior do esquema de energia e nos livros didáticos de autores brasileiros sofreu um processo de inversão, ou seja, os orbitais de menor energia são colocados no topo do diagrama.

Essa transformação na forma de uso da imagem foi interpretada por Bianco e Meloni (2019) como uma modificação das finalidades da imagem nos livros didáticos em relação ao trabalho desenvolvido por Pauling, pois enquanto

a intenção de Pauling era criar um procedimento que dispensasse os cálculos matemáticos requeridos para a distribuição eletrônica, as propostas subsequentes tiveram como objetivo criar um instrumento que facilitasse a memorização da ordem de distribuição dos elétrons na eletrosfera (p. 154).

No trabalho de Bianco e Meloni (2019) também foi constatado que os livros didáticos da década de 1960 começaram a tratar da interpretação da energia dos orbitais desconsiderando todo o

processo de discussão e de elaboração de imagens que se desenvolveu na comunidade científica que procurou representar os níveis de energia dos átomos. Além disso, foi verificado que os materiais pedagógicos apresentaram mudanças no conteúdo científico no tempo sincrônico e transformações no tempo diacrônico que não se reduzem às explicações que usam como categorias de análise as classes ou os grupos sociais, as características socioculturais ou as estruturas pré-fixadas de transformação do conhecimento.

Assim, esses autores concluíram que a opção pela abordagem descontextualizada e deslocada do processo de construção do conhecimento científico não poderia ser explicada pela teoria de que o conhecimento escolar é uma didatização do conhecimento elaborado pela *expertise*, pela ideia de que há um currículo prescrito e outro praticado ou pela relação entre a apropriação dos conteúdos na escola e os aspectos socioculturais do ambiente escolar, uma vez que nesse caso foi analisado o texto cristalizado no livro didático.

Então, o que poderia explicar as características observadas nos livros didáticos na abordagem deste tema em particular? Bianco e Meloni (2019) concluíram que as mudanças observadas ocorreram no nível da linguagem, da sedimentação dos discursos cotidianos e da cristalização das mudanças sutis que ocorrem nas formas como os conteúdos são explicados e nas imagens que vão sendo construídas nas aulas.

Essas constatações levaram à hipótese de que o caráter do conhecimento escolar pode estar ligado também aos discursos que predominaram em um determinado contexto. Neste caso, é possível que o processo de formação escolar possa estar relacionado não apenas às escolhas conscientes, aos processos planejados ou às prescrições racionalizadas, mas também às mudanças quase imperceptíveis, às opções não previstas ou às pequenas modificações operadas nos discursos.

Assim, neste trabalho são exploradas as possibilidades para a formação em Química que emergem de ações que não foram planejadas ou que estejam relacionadas às características do contexto sociocultural da escola. A hipótese que é investigada é a de que, além das escolhas dos temas e das metodologias, das condições concretas de ensino, das características socioculturais ou dos conhecimentos prévios dos estudantes, o discurso em suas sutilezas constitutivas e em sua forma de uso também participa da construção de sentidos sobre o conteúdo conceitual.

Em outras palavras, neste trabalho procura-se demonstrar que a educação em Química não se reduz a uma racionalidade técnica, a uma reprodução do conhecimento científico ou a um processo de transposição didática planejado tanto para a elaboração do currículo prescrito como para a execução das práticas pedagógicas. O professor e os materiais didáticos, ao exporem um determinado conteúdo, podem promover sentidos sobre a natureza que se afastam das interpretações estabelecidas pela comunidade científica.

Para testar essa hipótese optou-se por acompanhar como o tema do nível de energia dos elétrons foi exposto nos livros didáticos. Essa escolha se justifica pelo fato de que este assunto ganhou destaque nos currículos de Química na década de 1960 e Bianco e Meloni (2019) já demonstraram as mudanças nas abordagens desse tema em relação à teoria desenvolvida por Linus Pauling em artigo de 1939. A partir desta constatação foi suscitada a seguinte pergunta: quais as consequências dessas modificações do ponto de vista da compreensão das características do átomo? Ao analisar o currículo no tempo diacrônico é possível perceber as permanências e as mudanças que ocorreram nas formas e finalidades da abordagem.

Na década de 1960 ocorreu um movimento de renovação no ensino das ciências da natureza no qual se tencionava promover metodologias práticas e a atualização dos conteúdos conceituais (Krasilchik, 1995). Em relação especificamente ao ensino de Química aumentou a atenção aos aspectos estruturais da matéria com a valorização de temas como a energia dos elétrons e o conceito de orbital. Neste sentido, as escolhas desse assunto e dos livros didáticos da década de 1960 para objetos deste estudo estão relacionados ao objetivo de verificar como um tema que

começava a ganhar destaque no ensino foi sendo construído pelo discurso, ou seja, quais os possíveis sentidos podem ter sido produzidos e relativamente sedimentados pelos diferentes fluxos discursivos que se cruzavam no processo educativo.

A análise do discurso considerou as características das ilustrações dos esquemas de energia e as articulações dessas ilustrações com os respectivos textos nos livros didáticos de Química. A pesquisa do uso de imagens no ensino da Química pode ser interessante, uma vez que os recursos visuais são essenciais à aprendizagem dos estudantes (Silva, Braibante & Pazinato, 2013) e a sua ocorrência nos livros didáticos pode ser consequência de escolhas conscientes, em processos planejados, ou apenas com a finalidade ilustrativa.

Silva *et al.* (2013) afirmam que "[...] para o entendimento dos conteúdos científicos apresentados por este material (o livro didático) é necessário, além da compreensão do texto escrito, a adequada interpretação das imagens que o acompanham" (p.165). Assim, a investigação das diferentes finalidades das imagens apresentadas ao longo do tempo em livros didáticos visou responder se, por terem finalidades distintas e poderem proporcionar processos de aprendizagem distintos, as imagens contribuem para estabelecer adequadamente a relação entre os conhecimentos que são elaborados pelas ciências de referência com aqueles que são ensinados na escola.

Considerações Teórico-Methodológicas

Neste artigo será analisado o tema “energia dos elétrons” e a ilustração dos esquemas ou diagramas de níveis de energia dos elétrons em sete manuais de ensino de Química para o nível secundário, publicados no Brasil na década de sessenta do século XX (Quadro 1).

Quadro 1: Livros didáticos de Química

1	Química uma ciência experimental. Volume 2. EDART- São Paulo – Livraria Editora Ltda., 1973 (<i>Chem – Study, copyright 1960...</i>)
2	Química. Parte II. <i>Chemical Bond Approach committee</i> . Editora Universidade de Brasília. (CBA - primeira edição 1961)
3	AMADO, Gildásio. Química para o terceiro ano colegial. 3ª edição. São Paulo Ed. Nacional, 1961.
4	AMARAL, Luciano F.P. Química geral e inorgânica, primeiro volume. São Paulo: Editora do Brasil, 1967.
5	BONATO, Irmão Firmino. Química. 1º volume curso colegial. 10ª edição. São Paulo: FTD S.A., 1968.
6	SAFFIOTI, Waldemar. Fundamentos de Química. Primeiro Volume Química Geral, Inorgânica e Físicoquímica. São Paulo: Companhia Editora Nacional, 1968.
7	FELTRE, Ricardo; YOSHINAGA, Setsuo. Atomística. São Paulo: Editora Moderna, 1970.

Fonte: elaborado pelos autores

O trabalho foi desenvolvido em uma perspectiva histórica com o objetivo de verificar como o tema foi sendo objetivado nos livros didáticos a partir da articulação de vários movimentos discursivos. Nesse sentido, não se buscou construir uma história do ensino da teoria que explica a energia dos elétrons, mas sim verificar as características dos diagramas de níveis de energia apresentados nos materiais escolares a partir das práticas discursivas, entendidas como constituídas pelos textos e pelas imagens.

Não se trata, portanto, de verificar como os diagramas foram descritos nos textos, mas interpretar as marcas sutis e os detalhes dos movimentos discursivos presentes nos livros didáticos que moldaram esses saberes escolares. Nesse sentido, a análise se apoiou na

perspectiva foucaultiana de que as práticas discursivas “formam sistematicamente os objetos de que falam” (Foucault, 2005, p. 55) e de que esse processo ocorre com a disputa dos sentidos produzidos entre os vários discursos possíveis.

Assim, o olhar se voltou para o “caráter de acontecimento” (Foucault, 2014, p. 48) do discurso curricular buscando entender os processos de objetivação que se dão nas condições de possibilidades da escola. Na perspectiva adotada neste trabalho, o processo educativo não se reduz ao conhecimento produzido pelos cientistas, à adequação dos conteúdos conceituais aos níveis de escolaridade, às possibilidades de cognição ou abstração dos sujeitos ou às condições materiais da escola, também é preciso considerar os processos de construção de sentidos produzidos pelos discursos.

A análise diacrônica, portanto, pode revelar a descontinuidade na série, os “acidentes” que integram o discurso curricular que poderiam ter sido diferentes, os detalhes que caracterizam certa formação e não outra. Sendo assim, o trabalho consistiu em analisar “as marcas sutis, singulares, subindividuais que podem se entrecruzar [...]” (Foucault, 2019, p. 62) e entender o caráter da emergência de um saber e das suas formas de cristalização.

Entre essas marcas discursivas estão as imagens. As ilustrações podem ser analisadas em suas características próprias ou na relação que elas mantêm com os textos como instrumentos de complementariedade ou de promoção de novos sentidos. Sendo assim, neste trabalho foram consideradas como referências iniciais duas das categorias propostas por Perales e Jiménez (2002): o grau de iconicidade das imagens e a função de cada imagem na sequência didática.

A primeira categoria foi escolhida por apresentar o grau crescente de simbolização, o distanciamento da imagem em relação ao objeto que se pretende representar. Não se trata de analisar o grau de clareza da imagem ou a sua importância no desenvolvimento da explicação do tema, mas verificar como a imagem foi usada do ponto de vista discursivo. A segunda categoria tem como objetivo verificar as finalidades do uso dessas imagens do ponto de vista pedagógico. Neste caso também não se trata de tentar entender a função das imagens em relação ao conteúdo, mas de interpretar os sentidos que foram promovidos a partir do uso discursivo das imagens.

O grau de iconicidade está relacionado à complexidade das imagens. Perales e Jiménez (2002, p. 375) desenvolveram uma escala (baseada em Moles, 1991) na qual as imagens são classificadas de acordo com o seu grau de realismo ou abstração. Quanto maior o grau de abstração da imagem, maior a necessidade do domínio do código simbólico para compreendê-la. As unidades desta categoria são apresentadas no Quadro 2:

Quadro 2: Grau de iconicidade das imagens

Graus de iconicidade	Categorias	Definições
1	Fotografia	Interpretação por meio de fotografias
2	Desenho figurativo	Representação orgânica de objetos imitando a realidade
3	Desenho figurativo + signos	Representação de magnitudes inobserváveis em um espaço de representação heterogênea

4	Desenho figurativo/signos normalizados	A ilustração representa figurativamente uma situação e paralelamente se representa alguns aspectos mediante o uso de signos normalizados
5	Desenho esquemático	Representações das relações sem se importar com os detalhes
6	Desenho esquemático + signos	Representações ou quantidades não observáveis
7	Descrição em signos normalizados	Espaço de representação homogênea e simbólica com regras sintáticas específicas

Fonte: adaptado de Perales e Jiménez (2002)

A função da imagem pode ser analisada considerando as finalidades do trecho da sequência didática na qual ela aparece (Perales & Jiménez, 2002). Essa análise é realizada a partir dos parágrafos que antecedem e sucedem a imagem, de acordo com as categorias indicadas no Quadro 3:

Quadro 3: Categorias de análise das imagens nas sequências didáticas

Nome	Descrição
Evocação	Referência a um fato da experiência cotidiana ou conceito que é suposto ser conhecido pelo aluno.
Definição	Estabelecimento de significado de um termo novo em seu contexto teórico.
Aplicação	Exemplo que estende ou consolida uma definição.
Descrição	Fatos não cotidianos que são considerados desconhecidos pelo leitor e que permitem entender um contexto necessário. Também estão incluídos nesta categoria os conceitos necessários para o discurso principal, mas isso não pertence ao núcleo conceitual.
Interpretação	Passagens explicativas em que conceitos teóricos são usados para descrever as relações entre eventos experimentais.
Problematização	Perguntas não-retóricas que não podem ser resolvidas com os conceitos já definidos. Sua finalidade é incentivar os alunos a testarem as suas ideias ou estimular o interesse deles pelo tópico, apresentando problemas que mais tarde justifiquem uma interpretação ou uma nova abordagem.

Fonte: adaptado de Perales e Jiménez (2002)

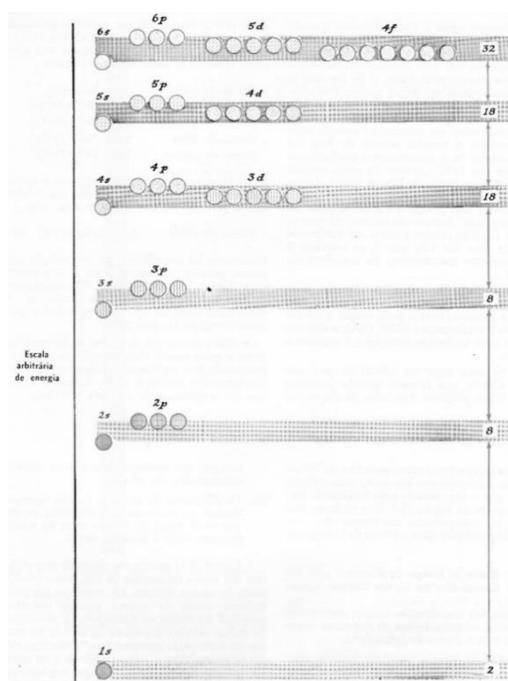
Interpretação das Imagens

A primeira obra em ordem cronológica a tratar do tema “energia dos elétrons” foi “Química uma ciência experimental” (Química, 1973). A edição consultada é a versão para a língua portuguesa publicada em 1973 da obra original de 1960 e a explicação da energia dos elétrons está no capítulo 15 do Volume 2 intitulado: Elétrons e a Tabela Periódica. A sequência didática começa com a interpretação do espectro de luz do hidrogênio e da noção de energia quantizada (p.341)

e, após essa interpretação, foi apresentada uma definição para associar as ideias de quantização à interpretação do átomo de hidrogênio.

Depois, a lição segue com uma descrição para explicar as ideias de Bohr, as características do átomo de hidrogênio e a definição dos números quânticos e do orbital como a região de maior “probabilidade de localizar o elétron a uma certa distância do núcleo” (Química, 1973, p. 349). A representação do “Esquema dos níveis de energia do átomo de hidrogênio” foi usada como um complemento da descrição da energia dos elétrons e da ocupação dos orbitais com a explicação de que a imagem “mostra cada orbital como se fossem casinhas de um pombal” (Química, 1973, p. 350), ou seja, que são espaços vazios que podem ser ocupados pelos elétrons. Na sequência a lição continua com a explicação da energia dos átomos constituídos por muitos elétrons na qual há uma ilustração (Figura 1).

Figura 1: Esquema dos níveis de energia de um átomo com muitos elétrons.



Fonte: Química, 1973, p. 354

O texto que precede a imagem explica que a figura “mostra um diagrama esquemático dos níveis de energia de um átomo constituído por muitos elétrons” (Química, 1973, p. 353), sugerindo que a imagem tem como finalidade complementar a descrição dos átomos e não, como se verá mais adiante, auxiliar o processo de distribuição dos elétrons pelos orbitais.

Embora a Figura 1 seja muito semelhante a que aparece na obra de Linus Pauling (Pauling, 1939) - representação dos orbitais como círculos vazados, variações dos níveis de energia em escala, localização dos níveis de energia mais baixos na parte inferior - no livro didático ela possui outra função, ou seja, apresentar uma ilustração gráfica dos orbitais.

Além disso, a obra didática sugere que os orbitais são espaços fixos com diferentes energias. A representação dessa noção tão estranha ao senso comum foi feita com a associação dos orbitais com as “casinhas de pombal” situadas em alturas diferentes, supondo-se que essa analogia poderia tornar o conteúdo conceitual mais familiar ao estudante.

No entanto, a transformação dessas noções em uma representação gráfica apresenta outras dificuldades. A Figura 1 se enquadra na categoria signos normalizados, pois se constitui em um exemplo de representação homogênea e simbólica que possui regras sintáticas específicas e, para

a compreensão dos elementos da imagem - circunferências, linhas, números -, é necessária a compreensão do conjunto de regras que tornam a imagem compreensível. O que para um cientista é uma representação simbólica, uma vez que ele domina o conteúdo conceitual, os modelos ou as hipóteses que envolvem uma representação, para o estudante de ensino secundário a associação dos orbitais a casinhas de um pombo pode representar a objetivação da noção de orbital como sendo um local fixo vazio para ser ocupado.

Na obra não há referência ao artigo de Linus Pauling, o que possibilita ao estudante considerar que a imagem (Figura 1) não está associada a um modelo proposto em um processo de construção do conhecimento científico, mas a uma realidade objetiva. A sequência didática termina com a interpretação da Tabela Periódica e da energia de ionização dos elementos a partir do esquema dos níveis de energia.

Em resumo, percebe-se que o tema da energia dos elétrons foi abordado com o objetivo de fazer uma descrição da estrutura do átomo e do comportamento dos elétrons. A imagem do esquema de energia tem a finalidade de complementar a descrição do conteúdo, construindo uma representação que procura se aproximar de elementos concretos que, supostamente, seriam mais compreensíveis aos estudantes secundários. No entanto, para cumprir esse objetivo o estudante teria que dominar o conjunto de regras que está relacionado aos conceitos que a imagem pretende demonstrar.

A segunda obra em ordem cronológica na qual o tema foi abordado foi "*Chemical Bond Approach Committee*" (Química, 1964), cuja primeira edição estadunidense é de 1961. Nessa obra a ilustração dos níveis de energia aparece no capítulo 7 – Níveis de energia dos elétrons – que tem como objetivo "[...] tentar classificar os átomos em grupos baseados nas energias de ionização." (Química, 1964, p.125).

A explicação dos níveis quânticos fez uso da categoria de interpretação de dados experimentais como, por exemplo, quando relaciona os subníveis de energia com a energia de ionização: "Dentro de um período particular, as interrupções do aumento de energia de ionização constituem uma prova experimental da existência de sub-níveis de energia ou níveis secundários de energia." (Química, 1964, p.125).

Após essa introdução, a obra usou uma definição para inserir e desenvolver o conceito de orbital: "A região do espaço reservada para a localização de um elétron é chamada orbital" (Química, 1964, p.126). A ilustração dos níveis de energia foi usada para complementar a definição dos números quânticos e a ideia de que no átomo há vários níveis de energia:

Um orbital com seu número quântico principal igual a 1 corresponderá ao primeiro nível quântico de energia. Os orbitais 2s e 2p representam diferentes sub-níveis de energia dentro do segundo nível quântico [...]. Outros dados [...] mostram que ainda existem outros níveis de energia maior [...]. Nos níveis d há cinco orbitais e nos níveis f há sete [...]. (Química, 1964, p.128).

A imagem é semelhante à que aparece no *Chem Study* (QUÍMICA, 1973) (Figura 1), mas não contém um título e na legenda vem explicado: "Níveis de energia relativos dos elétrons dos átomos no estado gasoso dos primeiros vinte elementos". O item subsequente - 7-4 Estabelecimento da configuração eletrônica (p.130) - discute como os elétrons ocupam os níveis de energia nos átomos com muitos elétrons e o faz partindo da imagem apresentada.

O texto fez uso da descrição, uma vez que não há referência a nenhum conceito novo. A imagem foi usada para representar as distribuições eletrônicas, mas os itens seguintes (7-5 – Sucessão periódica de configurações eletrônicas semelhantes; 7-6 – A tabela Periódica; 7-7 – Forma dos orbitais atômicos) não fazem menção à ilustração, ou seja, não há uma relação direta entre a imagem e a explicação da Tabela Periódica ou dos orbitais. Esse dado indica que a função da

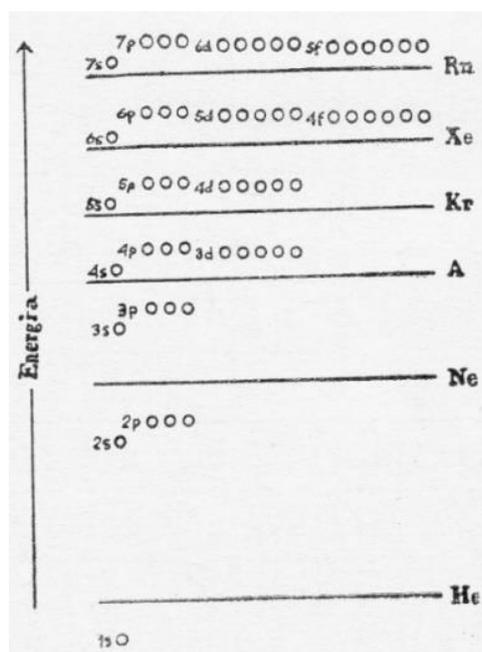
imagem nessa obra, a exemplo do que acontece no *Chem Study* (QUÍMICA, 1973), também não é de orientar a distribuição dos elétrons nos orbitais.

O uso da interpretação no início do capítulo se resume a uma estratégia de justificação do tema, visto que a discussão inicial não foi retomada e a explicação foi feita com base em definições e descrições sobre a natureza do átomo e a imagem tem a função de complementar a descrição da teoria. Nesta obra o orbital também foi representado como um espaço fixo e vazio apropriado para receber os elétrons. Em relação ao grau de iconicidade, a imagem se assemelha ao da obra anterior sendo, portanto, classificada na categoria dos signos normalizados, o que indica que também neste caso, a plena compreensão do significado dependeria do conhecimento do conjunto de regras que a compõe.

A primeira obra de um autor brasileiro investigada neste trabalho que fez referência ao tema foi Química para o terceiro ano colegial de Gildasio Amado (Amado, 1961). Em Amado (1961) a imagem (muito semelhante a que é usada no *Chem Study* - Figura 1) foi usada para a explicação da “distribuição dos elétrons nos vários níveis e subníveis” (Amado, 1961, p. 44) e, conseqüentemente, das propriedades periódicas (Figura 2).

A descrição indica que “de um elemento ao seguinte, no quadro periódico, o número atômico aumenta de uma unidade. Cada elemento tem, portanto, mais um elétron que o elemento precedente” e a imagem foi inserida na sequência da explicação para ilustrar como “os elétrons vão ocupando os sucessivos níveis e subníveis” [...] “na ordem crescente de suas energias” [...] “de baixo para cima” (AMADO, 1961, p. 44).

Figura 2: Níveis e subníveis de energia



Fonte: Amado, 1962, p. 44

Embora a ilustração seja muito semelhante à que apareceu no *Chem Study* (Química, 1973) e mesmo no artigo de Pauling de 1939, seu uso tem finalidades completamente diferentes. Se naquelas obras a imagem visava explicar a estrutura da matéria – no caso de Pauling com um modelo relativo às energias dos elétrons, no caso do *Chem Study* com a noção de espaços fixos para os orbitais –, na obra de Amado (1961) a imagem tem como finalidade ilustrar a distribuição dos elétrons nos níveis de energia.

Apesar de a imagem ser usada com a finalidade de contribuir com a descrição da teoria como as das obras anteriores, observa-se uma mudança importante na forma de desenvolver o conhecimento escolar sobre o átomo. Se antes as abordagens visavam à compreensão da estrutura do átomo, nessa obra a lição tinha como objetivo apresentar um instrumento que facilitasse a distribuição dos elétrons nos orbitais, mesmo que não houvesse a compreensão das noções básicas que envolviam a estrutura da matéria. A imagem também apresenta grau de iconicidade signo normalizado. Outro aspecto a ser observado é o destaque ao eixo de ordenada representando o nível crescente de energia no sentido de baixo para cima.

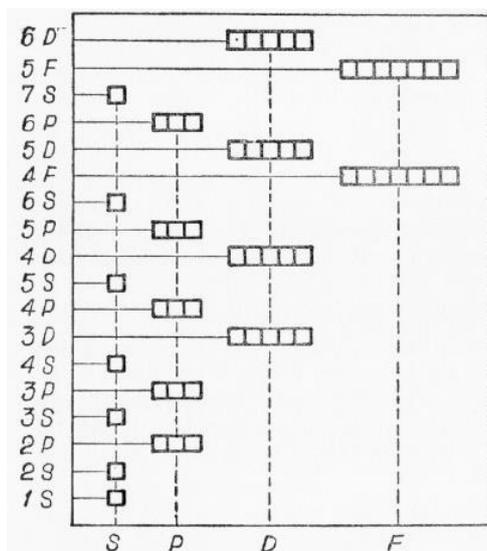
Outra obra de um autor brasileiro que faz referência ao tema é Química geral e inorgânica, de Luciano Amaral (Amaral, 1967). O tema “orbitais atômicos” foi tratado no capítulo IV – Estrutura do átomo – do primeiro volume com a interpretação de um fato experimental: o potencial de ionização dos elementos.

Após discutir o que é potencial de ionização e apresentar um gráfico da variação dos potenciais de ionização em função do número atômico o autor apresentou um problema em relação à interpretação dos dados:

Segundo o modelo de átomo de Rutherford-Bohr, o átomo de lítio [...] tem dois elétrons na camada K e um elétron na camada L. Os sete elementos seguintes (Be, B, C, N, O, F e Ne) têm, respectivamente, um elétron a mais na camada L. Todos esses elétrons devem ter, pois, o mesmo nível de energia. Verifica-se então que o modelo de átomo de Rutherford-Bohr não consegue explicar as diferenças observadas nos potenciais de ionização. (Amaral, 1967, p. 83).

Para explicar essa questão, o autor fez uso do conceito de orbital como “uma região do espaço, próxima do núcleo, na qual há grande probabilidade de se encontrar um determinado elétron” (Amaral, 1967, p. 84) e, a partir de uma série de definições, insere a imagem do esquema de energia com o título “Orbitais vazios” (Figura 3). A imagem sem legenda tem a finalidade de demonstrar a “ordem” energética dos orbitais e nela se observa que os orbitais estão distribuídos por ordem crescente de energia com os subníveis *s*, *p*, *d* e *f* em destaque. Um dado que chama a atenção é que a imagem apresenta os níveis sem a escala de energia.

Figura 3: Diagrama de distribuição eletrônica.



Fonte: Amaral, 1967, p.86

Embora a imagem tenha sido utilizada para explicar a energia dos elétrons, a ausência da escala e o destaque aos subníveis sugere que o autor desejava priorizar o conhecimento da forma como os elétrons ocupam os orbitais e não as características energéticas do átomo. Isso é reforçado pelo fato de que logo a seguir foram introduzidas duas imagens: uma com os orbitais preenchidos e outra com a distribuição dos elétrons do Hidrogênio até o Argônio na qual há uma inversão na posição do orbital $1s^1$ que é inserido na parte de cima formando um desenho semelhante ao que mais tarde seria definido como “Diagrama de Linus Pauling”. O grau de iconicidade da imagem (desenho esquemático) também exigia que os estudantes dominassem os conceitos relacionados a ela.

Observa-se nesta obra uma mudança nas características da imagem e nas funções que ela deveria desempenhar. No primeiro aspecto verifica-se que os orbitais estão representados por quadrados vazados (mais semelhantes às “casinhas de um pombal”?) e distribuídos sem escala. No decorrer da lição, os orbitais de menor energia passam a ocupar a parte de cima da imagem alterando um senso comum sobre a ordem energética, ou seja, o de que o orbital de menor energia deve estar na parte inferior da ilustração.

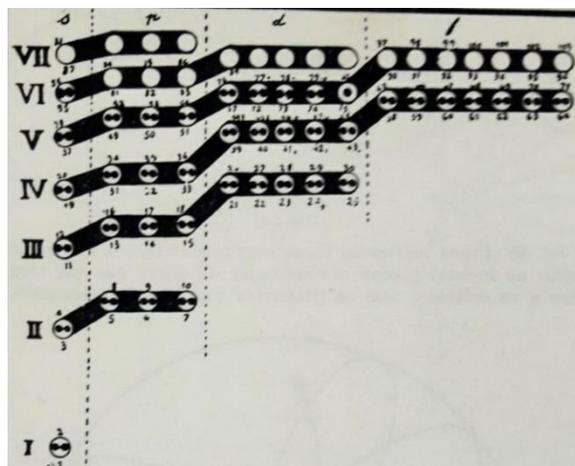
Em relação à função didática, percebe-se que, se as imagens das obras anteriores tinham como objetivo representar a estrutura do átomo (no *Chem Study* e no CBA de forma clara e em Amado (1961) como uma forma de transição), nesta obra percebe-se claramente uma transformação das finalidades da imagem de explicação do comportamento dos elétrons em relação aos orbitais para um instrumento mnemônico para a distribuição dos elétrons nos níveis e subníveis energéticos.

Há uma transformação radical no uso das imagens e na sua função didática, uma vez que o foco da lição deixou de ser a compreensão da estrutura da matéria e passou a ser a ocupação dos orbitais pelos elétrons. Se, por um lado, é importante que se conheça a forma como os orbitais estão ocupados pelos elétrons, por outro lado, esse conhecimento dissociado da compreensão da estrutura do átomo pode ser pouco significativo ao estudante secundário.

Na obra de Irmão Firmino Bonato de 1968 (Bonato, 1968) o tema é tratado no 1º volume do curso colegial. O texto contém quase que somente definições e a imagem foi inserida na sequência das definições (Figura 4). No texto não há referência à imagem, apenas uma legenda: “Diagrama das camadas e subcamadas de elétrons no átomo”, mas ela aparece na sequência de uma série de definições relacionadas ao modelo atômico Bohr-Sommerfeld (Bonato, 1968, p.37).

Nessa imagem os níveis de energia mais baixos estão na parte inferior da figura e os orbitais estão ligados por uma linha formando a imagem de uma escada ascendente.

Figura 4: Diagrama das camadas e subcamadas de elétrons no átomo



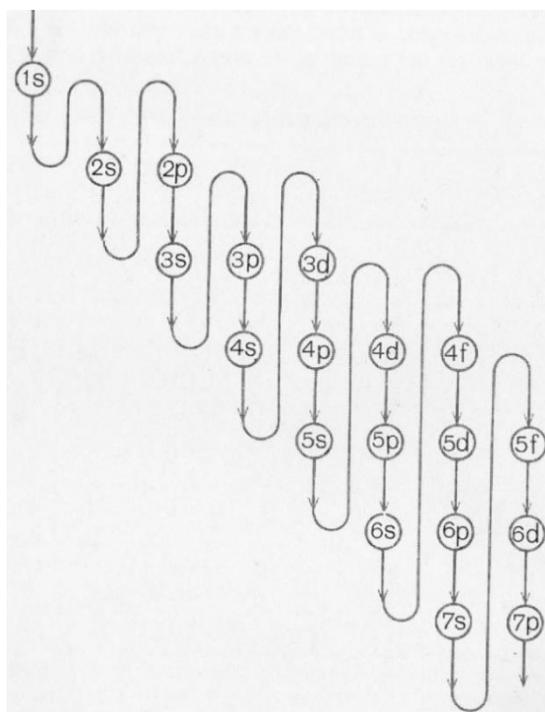
Fonte: Bonato, 1968, p.39

Dentre os livros analisados, é o mais antigo a usar o termo “diagrama” de forma explícita como título da imagem, antes o *Chem Study* fez referência ao “diagrama esquemático dos níveis de energia” (Química, 1973, p. 353), mas na imagem aparece o título “esquema dos níveis de energia” (p.354). Embora “esquema” e “diagrama” sejam sinônimos, a mudança do termo pode indicar que, ao se referir ao esquema de níveis de energia, o que se propunha era oferecer uma representação simplificada das características dos átomos, enquanto que o uso do termo “diagrama” tinha como objetivo indicar que havia um instrumento operatório para facilitar a compreensão da localização dos elétrons nos orbitais. Se no primeiro caso a intenção era explicar a estrutura do átomo, no segundo a imagem parece ter como objetivo oferecer um instrumento que resumisse todas as afirmações realizadas.

Na obra de Waldemar Saffioti, *Fundamentos de Química* de 1968, (Saffioti, 1968), o tema é tratado no capítulo 12 – Estrutura do átomo. O texto fez uso da interpretação para discutir os espectros de linhas dos átomos, mas os dados experimentais citados na introdução não são retomados. Nesse caso, a experiência foi usada apenas como uma justificativa para o tema. O capítulo continua com o uso de definições. Algumas explicações dos dados experimentais são muito vagas como, por exemplo, as relacionadas às condições dos elétrons nos orbitais: “Com o auxílio do Princípio de Pauli pode-se então dispor os elétrons de um átomo de modo bem definido”. (Saffioti, 1968, p.217).

Após as definições, o autor introduz a imagem dos orbitais e dos níveis de energia (Figura 5). Nesse caso, a imagem também foi tratada pelo termo “diagrama” e foi apresentada como um instrumento para ser usado na definição da ordem de energia dos orbitais: “Um diagrama muito útil, utilizado por alguns bons autores, se obtém dispondo cada nível quântico com seus subníveis horizontalmente e em série como se vê abaixo” (Saffioti, 1968, p.222). O diagrama tem uma função claramente operatória para organizar as definições apresentadas anteriormente.

Figura 5: Diagrama de energia



Fonte: Saffioti, 1968, p.222

As Figuras 4 e 5 são classificadas como desenhos esquemáticos + signos, pois representam magnitudes inobserváveis. Nos dois casos se verifica uma mudança radical na estética e nas

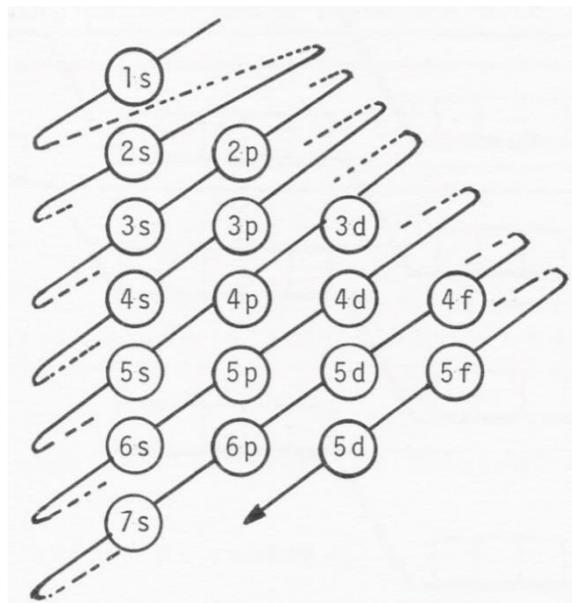
finalidades pedagógicas, uma vez que abandonam quase completamente as referências à estrutura da matéria. No caso da Figura 5, os orbitais são organizados na horizontal com os de menor energia em posições mais altas que os de maior energia.

A obra de Ricardo Feltre e Setsuo Yoshinaga de 1970 (Feltre & Yoshinaga, 1970) é uma referência nesse tema e parece aprofundar uma tendência que foi se desenvolvendo ao longo da década de 1960. O assunto foi tratado no capítulo 3, intitulado Estrutura do átomo (p.119), do volume "Atomística". O capítulo é dividido nos itens: O átomo de Dalton, O modelo de Rutherford-Bohr, A evolução da teoria de Rutherford-Bohr, Princípio de exclusão de Pauli, A mecânica ondulatória, Níveis, subníveis e orbitais e Representação gráfica e Regra de Hund (no qual foi tratado o tema "Diagrama de Pauling").

Os autores partem de dados experimentais para explicar os diferentes níveis de energia dos elétrons e, do ponto de vista das categorias que estão sendo consideradas para a análise neste trabalho, o texto usou a interpretação para iniciar a discussão sobre o tema: "Num sistema com diversos elétrons ocorrem interações entre esses elétrons e o espectro, ao invés de ser 'espectro de linhas' aparece na forma de 'espectro de raios'" (Feltre & Yoshinaga, 1970, p. 138).

A partir desse ponto, seguem-se várias definições. A ilustração dos níveis de energia foi introduzida para explicar as diferenças de energia dos elétrons. No primeiro desenho intitulado "Diagrama energético dos subníveis" o nível 1s aparece na parte inferior como parte da explicação da ordem de energia dos orbitais. No entanto, após essa explicação, foi apresentada outra imagem com o título "Diagrama de Pauling" (Figura 6) com a seguinte explicação: "O cientista Linus Pauling, idealizou um dispositivo prático que permite dar, imediatamente, a ordem energética dos subníveis e que é conhecido como Diagrama de Pauling" (Feltre & Yoshinaga, 1970, p. 160).

Figura 6: Apresentados pelos autores como o "Diagrama de Pauling"

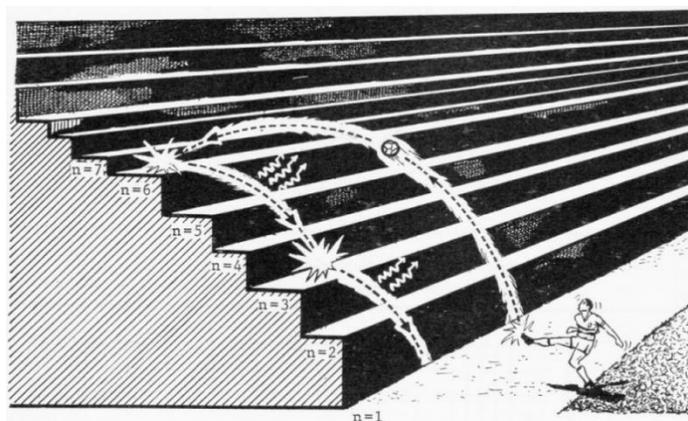


Fonte: Feltre e Yoshinaga, 1970, p. 159

O diagrama foi apresentado como sendo uma proposta de Linus Pauling embora, tanto a estética da imagem como a sua função sejam distintas da que aparece na obra de Pauling de 1939 (Pauling, 1939). Percebe-se uma mudança no discurso sobre a imagem com a finalidade de caracterizar o diagrama como um instrumento para auxiliar a distribuição dos elétrons nos subníveis de energia e não como um complemento da explicação da energia dos elétrons. O que antes era sugerido, agora é anunciado de forma explícita.

No texto, os autores afirmam que “no preenchimento de elétrons num átomo, eles vão ocupando os orbitais de menor energia. Portanto, o diagrama de Pauling, mostra-nos como devemos preencher os subníveis dos átomos.” (Feltre & Yoshinaga, 1970, p. 160). O argumento é ilustrado com outra imagem na qual há uma analogia entre a energia dos orbitais e a ocupação destes pelos elétrons e os degraus de uma escada (Figura 7).

Figura 7: Representação para saltos energéticos de um elétron em diferentes níveis quânticos



Fonte: Feltre e Yoshinaga, 1970, p. 131

Diferentemente da Figura 6, que se enquadra no grau de iconicidade desenho esquemático + signos normalizados, a Figura 7 pode ser classificada como desenho figurativo/signos normalizados. Enquanto na Figura 6 é necessária a compreensão de regras sintáticas para a compreensão da imagem, na Figura 7 esse processo é mais simples, pois a imagem de um jogador de futebol chutando uma bola é uma representação de uma situação real que o estudante já viu. Entretanto, é justamente a familiaridade do estudante com a situação real que pode levá-lo a concepções alternativas, pois o processo de chutar uma bola não representa os acontecimentos no nível quântico, no qual se encontram os elétrons.

A sequência didática apresenta analogias que podem levar à comparação dos números quânticos aos elementos de um prédio que induzem a um reducionismo que desconsidera diversos elementos da química quântica e modifica a ideia original proposta pelos idealizadores desses conhecimentos. O que surge é um novo conteúdo, que não guarda semelhança com as propostas originais e se distancia das noções que ajudam a explicar o conteúdo energético dos elétrons.

Considerações Finais

A análise demonstrou que em quase todas as obras as imagens foram usadas como recursos para complementar as descrições. Em alguns casos as lições começaram com a interpretação de dados experimentais, mas logo seguiam com o uso de definições e de descrições e foram nestes pontos da sequência didática que as imagens apareceram. Também foi observado que há diferenças entre o grau de iconicidade das imagens, que variaram entre as categorias signos normalizados e desenhos esquemáticos + signos normalizados.

No entanto, em todos os casos as imagens apresentaram um grau de iconicidade que exigia outras informações ou conhecimentos para a sua compreensão. Neste trabalho as imagens foram utilizadas para representar os orbitais e essas imagens já continham um grau de iconicidade que distanciavam a representação do objeto retratado.

Essa característica das imagens exige alto nível de conhecimento do código simbólico utilizado para compreensão (Levie & Lentz, 1982) e, geralmente, não está no domínio dos estudantes da educação básica. Silva *et al.* (2006) propuseram um curso de formação de professores

envolvendo atividades de leitura e uso de textos e imagens no ensino de ciências e concluíram que

alunos podem ler imagens de formas diferentes e que as leituras produzidas pelos alunos sobre as imagens podem revelar dificuldades de elaborações conceituais do ponto de vista da ciência, obstáculos epistemológicos ou concepções alternativas, assim como valores e ideologias associados à produção científico-tecnológica. (Silva *et al.*, 2006, p. 231).

Além disso, foi verificado que nas primeiras obras o esquema de energia foi usado como um complemento da explicação da energia dos elétrons, mas aos poucos as imagens foram sendo usadas para representar a ideia de que os átomos possuem espaços que podem ser ocupados pelos elétrons. Isso não se deu pela ocorrência de um planejamento ou pela existência de um currículo prescrito, mas pela forma como as práticas discursivas, linguísticas e extralinguísticas, foram objetivando essas noções sobre o átomo.

E essa análise só foi possível na medida em que não se tentou fazer a interpretação de uma história da ciência pronta ou do ensino dessa ciência realizado, mas, considerando o discurso como um acontecimento (Foucault, 2014), se buscou identificar as descontinuidades, as mudanças sutis ou as marcas deixadas no processo educativo. Neste caso, foi possível perceber que o uso das imagens não seguiu uma norma ou um padrão, mas esteve relacionada às possibilidades que se abriram no discurso curricular contornando o rigor do conhecimento científico e servindo às tentativas de aproximação do conteúdo conceitual com as imagens mais comuns aos estudantes secundários.

No entanto, percebe-se que, ao se deslocar a proposta de esquema de energia contida na obra de Linus Pauling de 1939 para o contexto escolar, no qual não se domina os instrumentos avançados da matemática e, em geral, também não se discute as consequências de trabalhar com as imagens simbólicas ou com metáforas inadequadas, houve a elaboração de outro conhecimento sobre o mesmo tema. No caso, a forma como o conteúdo referente à estrutura da matéria foi objetivada nos livros didáticos contribuiu para criar uma noção de que o átomo possui espaços fixos ao invés de diferentes níveis energéticos.

Neste trabalho procurou-se demonstrar que o conhecimento escolar não se reduz a uma simplificação do conhecimento científico ou a uma reprodução do currículo prescrito. Embora haja nexos entre os saberes escolares e os conhecimentos elaborados fora da escola, no processo educativo também ocorrem produções de sentidos que não foram previstos ou planejados. Para identificar esse processo de construção de possibilidades de sentidos, optou-se por uma análise diacrônica nos livros didáticos de Química publicados no Brasil na década de 1960.

Com essa opção de análise foi possível verificar que algumas transformações na abordagem do tema sobre a energia dos orbitais não tiveram relação com os programas planejados, com os currículos prescritos ou com os interesses dos grupos sociais. As mudanças que ocorreram nos textos e nas imagens do esquema de distribuição de energia dos elétrons se deram nos detalhes sutis e nas ordenações escolhidas entre outras possibilidades. E isto se deu no âmbito do discurso, mas não do discurso como instrumento de comunicação, mas no discurso como acontecimento que constrói o objeto ao qual está se referindo.

Neste sentido, buscou-se demonstrar que o conhecimento escolar se desenvolve também a partir de uma construção discursiva que não coincide integralmente com os conhecimentos elaborados fora da escola e que o discurso do professor (e neste caso específico, do autor de livro didático) tem uma função que ultrapassa a comunicação ou a didatização do conhecimento. Desta forma, este trabalho colocou em relevo o papel do professor como um sujeito que promove sentidos e produz conhecimentos.

Referências

- Amado, Gildásio. (1962). *Química para o terceiro ano colegial*. 3ª edição. São Paulo: Editora Nacional.
- Amaral, Luciano F.P. (1967). *Química geral e inorgânica*, primeiro volume. São Paulo: Editora do Brasil.
- Bianco, André A. G. & Meloni, Reginaldo A. (2019). O Conhecimento Escolar: Um Estudo do Tema Diagrama de Linus Pauling em Livros Didáticos de Química - 1960/1970. *Química Nova na Escola*, 41 (2), 148-155.
- Bonato, Irmão Firmino (1968). *Química. 1º volume curso colegial*. 10ª edição. São Paulo: FTD S.A.
- Bruner, Jerome (1978). *O processo da educação*. São Paulo: Editora Nacional.
- Certeau, Michel de (1994). *A Invenção do Cotidiano*, Petrópolis: Vozes.
- Chervel, Andre (1990). História das Disciplinas Escolares: reflexões sobre um campo de pesquisa. *Teoria & Educação*, 2, 177-229.
- Chevallard, Yves (1997). *La transposición didáctica: del saber sábio al saber enseñado*. Buenos Aires: Aique.
- Feltre, Ricardo & Yoshinaga, Setsuo (1970). *Atomística*. São Paulo: Editora Moderna.
- Foucault, Michel (2019). Nietzsche, a genealogia e a história. In: *Microfísica do poder*. São Paulo: Paz e Terra.
- Foucault, Michel (2005). *A arqueologia do saber*. Rio de Janeiro: Forense-Universitária.
- Foucault, Michel (2014). *A ordem do discurso*. São Paulo: Edições Loyola.
- Goodson, Ivor (1997). *A construção social do currículo*. Lisboa: Educa.
- Goodson, Ivor (2003). *Currículo: teoria e história*. Petrópolis: Vozes.
- Krasilchik, Myrian (1995). Inovação no ensino das ciências. In: GARCIA, Walter E. *Inovação Educacional no Brasil. Problemas e Perspectivas*. Campinas: Autores Associados.
- Levie, W. Howard & Lentz, Richard (1982). Effects of text illustrations: A review of research. *Educational Communications and Technology Journal*, 30(4), 195–232.
- Moles, Abraham (1991). Pensar en línea, pensar en superfície. In: Costa, Joan & Moles, Abraham. (eds.). *Imagen Didáctica*. Enciclopedia del Diseño, 9-35. Barcelona: Ceac.
- Pauling Linus (1939). *The nature of the chemical bond*. 2nd ed. Ithaca: Cornell University Press.
- Perales, Francisco J. & Jiménez, Juan D. (2002). Las ilustraciones em la enseñanza-aprendizaje de las ciencias. Análisis de libros de texto. *Enseñanza de las Ciencias*, 20 (3), 369-386.
- Química uma ciência experimental*. Volume 2 (1973). São Paulo: EDART Livraria Editora Ltda.
- Química*. Parte II. Chemical Bond Approach committee (1964). Brasília: Editora Universidade de Brasília.
- Rudd, Tim & Goodson, Ivor (2016). Refraction as a Tool for Understanding Action and Educational Orthodoxy and Transgression. *Revista Tempos e Espaços em Educação*, 9 (18), 99-110.
- Saffioti, Waldemar (1968). *Fundamentos de Química. Primeiro Volume Química Geral, Inorgânica e Físicoquímica*. São Paulo: Companhia Editora Nacional.
- Silva, Henrique C.; Zimmermann, Erika; Carneiro, Maria H. S.; Gastal, Maria L. & Cassiano, Webster S. (2006). Cautela ao usar imagens em aulas de ciências. *Ciência e Educação*, 12 (2), 219-233.

As Representações de Diagramas de Níveis de Energia dos Elétrons em Livros Didáticos de Química -
1960/1970

Silva, Giovanna S.; Braibante, Mara E. F. & Pazinato, Maurícius S. (2013). Os recursos visuais utilizados na abordagem dos modelos atômicos: uma análise nos livros didáticos de Química. *Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências*, 13, 159-182.