

Investigando a abordagem do tema Cinética Química nos livros didáticos dirigidos ao Ensino Médio a partir das ideias de Imre Lakatos

Simone Alves de Assis Martorano
Maria Eunice Ribeiro Marcondes

RESUMO

O objetivo deste trabalho foi investigar como a Cinética Química foi sendo apropriada pelos livros didáticos destinados ao Ensino Médio em um determinado período de tempo (1929-2004), através do estudo do desenvolvimento histórico dos conceitos químicos envolvidos neste tema. O modelo adotado para a análise dos livros didáticos está baseado na linha de pesquisa desenvolvida por Niaz (2001) e Justi (1999), que se baseia na história e filosofia da ciência para entender o tratamento dado aos conceitos químicos pelo livro didático. Para isso, foi utilizada a metodologia de Imre Lakatos, da reconstrução racional do conhecimento científico, para analisar a evolução histórica das ideias sobre Cinética Química. Foram propostos quatro Programas de Investigação Científica que representam o conhecimento científico sobre a Cinética Química no período de 1850 até 1935. Tais Programas foram utilizados para evidenciar os níveis de explicação teórica atingidos em vinte livros didáticos.

Palavras-chave: Livro didático. Cinética química. História e filosofia da ciência. Programas de investigação científica.

Investigating a approaching of the topic of chemical kinetics in textbooks addressed to high school education from the ideas of Imre Lakatos

ABSTRACT

The objective of the present work is to study how the kinetic theory of chemical reactions was adjusted to appear in secondary education textbooks during the period from 1929 to 2004. This work was carried out by an analysis of the historical development of the chemical concepts related to this subject. The model adopted for the analysis of the textbooks is based on the research line of Niaz (2001) and Justi (1999), who used the history and philosophy of science to understand the

Simone Alves de Assis Martorano é profa. Dra., docente do curso de graduação em Ciências – Licenciatura Plena em Química. Endereço para correspondência: Rua Prof. Artur Riedel, 275 – Jd. Eldorado – CEP: 09972-270 – Diadema/SP. Setor de Educação em Ciências – Universidade Federal de São Paulo – Campus Diadema/SP. E-mail: simone.martorano@unifesp.br

Maria Eunice Ribeiro Marcondes é profa. Dra., docente do curso de licenciatura do Instituto de Química da Universidade Estadual de São Paulo/SP. Endereço para correspondência: Universidade de São Paulo, Instituto de Química, Departamento de Química Fundamental. Av. Prof. Lineu Prestes, 748, Cidade Universitária, CEP: 05508-900 – São Paulo/SP. E-mail: mermarco@iq.usp.br

approach adopted by textbooks to present chemical concepts. The method of rational reconstruction of the scientific knowledge, by Imre Lakatos, was used to analyze the historical evolution of the ideas about chemical kinetics. Four scientific investigation programs that represent the scientific knowledge about chemical kinetics from 1850 to 1935 were proposed. These programs were used to highlight the level of theoretical explanation reached in twenty textbooks.

Keyword: Text book, Chemical Kinetics, History and philosophy of the science, Programs for Scientific Research.

INTRODUÇÃO

Na química, como em qualquer outra disciplina escolar, o livro didático ainda possui um papel importante na dinâmica do ensino. Embora hoje o aluno possa contar com outros recursos para obter informações sobre a ciência, o livro didático continua tendo um importante papel na transmissão de conhecimentos científicos.

O livro didático tem sido o foco de muitas pesquisas em ensino de ciências. Alguns estudos como os de Lopes (1992), Schnetzler (1980), Liso (2002), Justí (1997) focalizam a análise do conteúdo químico apresentado no livro didático, outros se focam na imagem de ciência que esses livros podem transmitir aos alunos, como os estudos de Cachapuz (1997), Níaz (1994, 2000, 2001), e Chiappetta (1991). Contudo, observamos que na maioria desses estudos percebe-se a preocupação dos autores em entender como o conhecimento científico foi transposto para o livro didático.

O processo de adaptação, ou de transformação do conhecimento científico em conhecimento escolar é denominado por Yves Chevallard (LOPES, 1999) de transposição didática. Este tem por objetivo tornar os saberes selecionados efetivamente transmissíveis e assimiláveis, sendo que nesse processo só se considera a influência das ciências de referência, o papel da escola está em fornecer a didática que será encarregada de fazer esta transposição. Neste processo, o que ocorre muitas vezes é que o conteúdo dos livros didáticos acaba aparecendo como um saber sem produtor, sem origem, sem lugar, transcendente ao tempo, como se pode verificar pela falta de referências bibliográficas e históricas, ou seja, não aparece no desenvolvimento do conteúdo o processo de construção do conhecimento científico. Nas palavras de Lopes (1999), um elemento do conhecimento científico, quando deslocado das questões que ele permite resolver e dos conceitos com os quais constitui uma rede relacional, tem a sua natureza fortemente modificada. Trata-se de uma despersonalização e de uma descontemporalização dos conceitos, quando se tornam objetos de ensino.

Segundo Lopes (1999), o termo transposição didática está associado à ideia de reprodução, movimento de transportar de um lugar para outro sem alterações. Ela defende a sua ideia de adaptação do conhecimento científico, denominando este processo de (re) construção de saberes na instituição escolar de mediação didática: *“Mediação didática é o processo de constituição de uma realidade a partir de mediações contraditórias, de relações complexas, não imediatas. Um profundo sentido de dialogia”*. Para a autora, nesse processo de mediação didática, o conhecimento científico, ao ser adaptado para o Ensino

Médio, deveria mostrar a forma complexa do processo de sua construção. Mesmo que se considere o processo de transposição didática mais complexo do que uma simplificação do conhecimento científico que visa atender às necessidades cognitivas dos alunos do Ensino Médio, sua base esta centrada na ciência de referência.

Já Chervel posicionou-se contra as proposições de Yves Chevallard. Para André Chervel (PESSANHA et al., 2004), o processo de transposição didática não é neutro, ou seja, ele não depende apenas das ciências de referência, mas sim sofre influências de outros fatores, como as intervenções de elites intelectuais e do poder político institucional, dentro do ambiente escolar, o que confere à disciplina escolar uma relativa autonomia. A disciplina escolar se constituiria pela passagem dos saberes por um filtro específico, social, desta maneira que após algum tempo, poderia guardar poucas relações com o saber de origem (PESSANHA et al., 2004). Portanto, para entender as mudanças no ensino a disciplina escolar deveria ser estudada historicamente, contextualizando o papel exercido pela escola em cada momento histórico (BITTENCOURT, 1999).

O conteúdo químico que é apresentado atualmente pelo livro didático, diverge na forma de apresentação e na quantidade de informações dos livros de outras décadas, e também difere na maneira como apresenta algumas características da ciência, o que pode influenciar as ideias e concepções de ciência do leitor em cada época. Para entender essas diferenças, neste trabalho, admitiu-se que o desenvolvimento do tema cinética química no livro didático, através dos anos, pode ter sofrido influências das reformas educacionais dirigidas ao Ensino Médio. Para entender essas influências, os livros didáticos foram agrupados em cinco períodos que correspondem aos períodos de vigência das reformas educacionais brasileiras.

As reformas educacionais, segundo Villani et al. (2005), visam principalmente adequar o conteúdo a ser ensinado, tendo em vista as conquistas científicas e as mudanças na concepção de ciência e de ensino, bem como promover a democratização do ensino e a formação básica generalista. Portanto, espera-se neste trabalho estabelecer relações entre os possíveis reflexos educacionais no ensino e os livros didáticos escolhidos para análise.

Segundo Moreno et al. (2000), a ciência, como toda atividade humana, é histórica, ou seja, é mutante, não só porque está sujeita à dinâmica do tempo, mas também porque, enquanto transcorre, constrói-se, modifica-se, evolui, amplia-se e desenvolve-se. A história da ciência ocupa-se em estudar essas mudanças, de como se produzem e das consequências que geram. Portanto, procuramos verificar se os livros didáticos apresentam essa dinâmica, ou seja, se estão presentes, no desenvolvimento do seu conteúdo, as mudanças teóricas, ou seja, a criação, modificação e substituição de velhas hipóteses por novas, e também as mudanças que ocorrem nos procedimentos, ou seja, os métodos que caracterizam o trabalho da ciência.

Escolhemos o capítulo cinética química como tema para análise do livro didático, por considerá-lo um conteúdo imprescindível para a formação básica em química do aluno do Ensino Médio. O conhecimento da cinética química proporciona ao aluno o entendimento da velocidade de uma reação química e dos fatores que a determinam ou

a modificam, mas, além disso, leva ao entendimento do mecanismo (ou caminho) de uma reação.

MARCO TEÓRICO

Para se entender as mudanças das teorias e dos métodos utilizados pela comunidade científica na sua tentativa de entender a velocidade de uma reação química, optamos por realizar uma reconstrução histórica de acordo com as ideias de Imre Lakatos (1998,1999).

As ideias de Lakatos (1998,1999) fazem parte de uma nova corrente filosófica denominada nova filosofia da ciência surgida a partir da metade do século XX, como resultado de várias críticas ao positivismo, visão filosófica até então dominante. De acordo com essa nova filosofia, o que o cientista observa e investiga é uma “construção” da realidade que está em acordo com a sua formação, marco teórico e até valores sociais, por tanto não existem observações neutras. O que é mais interessante na nova filosofia da ciência, segundo Níaz (2001), é o foco orientado para explicar a mudança das teorias, sendo que anteriormente se pretendia sobre tudo justificá-las. Como representantes desta nova filosofia pode-se destacar os filósofos Popper, Toulmin, Kuhn, Feyerabend, Lakatos e Laudan (NÍAZ, 2001)

A metodologia dos Programas de Investigação Científica proposta por Lakatos, juntamente com a história do desenvolvimento da ciência, têm sido utilizadas em pesquisas no ensino de ciências por outros autores como, por exemplo, Justi (1997, 1999), Níaz (1994, 2000 e 2001) e Lerman (2008). Segundo Níaz (2001), essa abordagem provê um instrumento útil para ajudar na reconstrução dos conhecimentos científicos dos estudantes e professores de ciência. O autor defende que a reconstrução histórica de progressos científicos, que conduzem inevitavelmente a controvérsias e debates, pode despertar o interesse dos estudantes e facilitar compreensão de conceitos químicos. Em contraste, currículos de química em geral e livros didáticos não só ignoram o contexto no qual a ciência progride, mas também enfatizam roteiros de aprendizagem e estratégias algorítmicas.

A caracterização do Programa de Investigação Científica (LAKATOS, 1998) é feita pelos seguintes componentes: o “núcleo duro”, o cinturão protetor e uma heurística. Os dois primeiros correspondem ao conjunto de enunciados gerais, são as teorias aceitas na sua época pela comunidade científica. A heurística pode ser negativa ou positiva, conforme representa orientações de pesquisa a evitar ou a prosseguir.

De acordo com Lakatos (1998), esses componentes são assim constituídos:

Núcleo duro: reúne os pressupostos básicos e essenciais do programa, ou seja, tudo aquilo que é fundamental para a sua existência. O abandono desse núcleo duro é o que causa a mudança de programa. **Cinturão protetor:** é formado por hipóteses auxiliares que tem como objetivo proteger o núcleo. Segundo Lakatos (1998), é esse cinto de proteção de hipóteses auxiliares que tem que suportar o impacto dos testes e ir se ajustando e

reajustando, ou mesmo ser completamente substituído, para defender o núcleo assim fortalecido. **Heurística negativa:** é uma regra metodológica que não permite o ataque direto ao núcleo do Programa de Investigação, ao contrário ela redireciona o ataque para o cinturão protetor em torno do núcleo. **A heurística positiva:** é formada pelas regras que orientam o desenvolvimento do programa.

A competição entre Programas de Investigação científica: Lakatos (1998) propõe que somente existem duas classes de programas científicos de investigação, os progressivos e os degenerativos. É a competição entre diferentes programas contemporâneos que faz desenvolver o quadro teórico da explicação científica. O Programa progressivo é aceito pela comunidade científica, enquanto que o programa degenerativo, segundo Lakatos (1998), cairá em desuso, devido à incapacidade demonstrada em explicar novos fatos, em erguer uma teoria coerente.

RECONSTRUÇÃO HISTÓRICA

A reconstrução histórica dos conhecimentos científicos relativos à Cinética Química foi feita a partir de pesquisas de historiadores da ciência, artigos de pesquisadores e artigos originais dos cientistas que estiveram envolvidos no estudo da cinética química. Foram elaborados quatro Programas de Investigação Científica que representam o conhecimento científico sobre a cinética química no período de 1850 até 1935, ano em que foi proposta a teoria do estado de transição.

Um importante problema atual da cinética química é determinar de que modo as velocidades das reações químicas dependem das concentrações das substâncias reagentes. Isto também é importante para se conhecer de que modo as velocidades são afetadas pelos produtos das reações. Um outro problema é analisar o efeito da temperatura na velocidade das reações. Todos esses problemas estão presentes no capítulo de cinética química da maioria dos livros didáticos dirigidos ao Ensino Médio. Sendo assim, na reconstrução histórica, foram levados em consideração esses aspectos da cinética química.

Os Programas de Investigação Científica (PIC) foram estruturados, pelas autoras desse trabalho, da seguinte maneira:

Núcleo duro: modelo teórico que explica a velocidade de uma reação química, considerando-se o entendimento dos aspectos microscópicos da mesma.

Cinturão protetor: dois atributos que influenciam a velocidade de uma reação química, são eles: a concentração das substâncias reagentes e a temperatura.

Heurística positiva: 1) De que modo a velocidade de uma reação química depende das concentrações das substâncias reagentes?; 2) Como a temperatura pode influenciar a velocidade de uma reação química?

Podemos observar no desenvolvimento histórico da cinética química que, em vários momentos com o intuito de resolver algum problema específico, foram propostas pelos cientistas, novas teorias que possuíam um poder explicativo maior que as teorias anteriores,

e assim essas novas teorias substituíam as antigas. Portanto, consideramos neste trabalho que um programa de investigação suplanta o anterior, quando apresenta explicações mais amplas sobre as velocidades das reações químicas (núcleo do programa).

Através do estudo do desenvolvimento histórico da cinética química, foi possível identificar quatro períodos de tempo que representam os períodos onde foram desenvolvidos os conhecimentos científicos que fazem parte de cada Programa de Investigação Científica. A seguir, são listados os programas.

PIC-I: Programa de Investigação Científica de Wilhelmy, Harcourt, Esson e Berthelot (1850-1867)

Núcleo duro: A reação química é entendida como um processo no qual partículas (reagentes) interagem com outras formando novas substâncias (produtos), e a velocidade de uma reação química é proporcional ao número de partículas que estão reagindo num determinado tempo. Portanto, quanto maior a quantidade de partículas, maior é chance de ocorrer interação entre as elas, o que pode acarretar um aumento de velocidade desta reação.

Heurística positiva:

- *Efeito da concentração:* A velocidade da reação é proporcional ao número de partículas que estão reagindo num dado tempo. Para se calcular a velocidade de uma reação utiliza-se o cálculo diferencial e integral, obtendo-se assim equações que relacionam a velocidade de uma reação química com a concentração dos seus reagentes.
- *Efeito da temperatura:* A temperatura pode influir na velocidade de uma reação química, mas não existe um entendimento, em termos microscópicos, de como isto ocorre.

Os estudos desse período de tempo (1850-1865) foram de grande importância na cinética química, pois neles a velocidade de uma reação começou a ser estudada de forma quantitativa com a introdução de equações exponenciais e diferenciais que possibilitavam a determinação da concentração dos reagentes ou de produtos de uma reação química, portanto, esta união da química com a matemática, possibilitou aos cientistas realizarem previsões mais precisas das velocidades das reações.

Em relação às técnicas experimentais, o uso do polarímetro foi importante, pois permitiu a obtenção de dados quantitativos que permitiram a elaboração de equações matemáticas para o estudo da cinética das reações químicas.

No entanto, podemos observar que esses cientistas não tinham a preocupação de explicar esses novos conceitos através de um modelo de constituição da matéria. Assim, pode-se dizer que neste período o enfoque dado aos estudos cinéticos era empírico–matemático.

PIC-II: Programa de Investigação Científica de Pfaundler e van't Hoff (1872-1888):

Núcleo duro: somente as partículas que possuem energia superior à energia crítica podem reagir. A velocidade é, portanto, proporcional ao número de partículas que possuem quantidade de energia superior à energia crítica.

Heurística positiva:

- *Efeito da concentração:* A análise dos dados experimentais cinéticos e a determinação da ordem de uma reação química passam a ser feita pelo método diferencial. Portanto, nessa época já se tinha o conhecimento de que uma reação poderia ocorrer em mais de uma etapa, embora o conhecimento do mecanismo de reações só pode ser obtido com as modernas técnicas experimentais que surgiram muito tempo depois (década de 60, século XX). Na equação utilizada por van't Hoff, para determinar a velocidade de uma reação química entra um novo fator, que é a energia. Portanto, a velocidade da reação depende da concentração das partículas que possuem um valor mínimo de energia para que possam reagir, denominada de energia crítica.
- *Efeito da temperatura:* Um aumento de temperatura causa um aumento do número de partículas com energia suficiente para participarem da reação química.

Este período é marcado, principalmente, pelos estudos de van't Hoff, tanto em relação à influência da concentração como também influência da temperatura nas velocidades das reações químicas.

J. H. van't Hoff, ao pensar como uma reação química acontece, analisando o processo como um todo, conseguiu formular conceitos teóricos importantes, o que segundo Justi (1997), não era feito pelos químicos até o tempo dele. Podemos resumir as principais contribuições de van't Hoff a seguir:

- Ele propôs a existência de fatores que podem exercer influência no curso de uma reação química, por exemplo, o efeito da temperatura na velocidade de uma reação.
- Aplicou conceitos da termodinâmica para situações da fisicoquímica;
- Estudo da cinética com ênfase sobre a realidade dos átomos e das moléculas. Ele relacionou estritamente a cinética com as propriedades das substâncias e à ocorrência de reações químicas.

Segundo Laidler (1993), levando-se em consideração a concentração e a temperatura na determinação da lei de velocidade de uma reação química, nos estudos realizados nessa época percebeu-se que o valor calculado era muito maior do que o valor determinado experimentalmente. Portanto, deveriam existir outros fatores que poderiam influenciar a velocidade de uma reação química. Este problema só foi resolvido posteriormente.

PIC-III: Programa de Investigação Científica de Trautz – Lewis, Ostwald e Arrhenius (1889-1918):

Núcleo duro: a velocidade de uma reação química depende do número de colisões por segundo que acontecem entre as moléculas ativas das substâncias participantes da reação, mas, se duas moléculas estão reagindo elas não tem que meramente colidir com energia mútua suficiente, elas devem vir juntas com uma mútua orientação que é necessária para quebrar e formar ligações.

Heurística positiva:

- *Efeito da concentração:* A concentração influi na velocidade, mas entende-se agora que somente as partículas que possuem uma determinada quantidade de energia, e uma orientação apropriada, conseguem reagir, portanto, a velocidade de uma reação depende agora desses fatores. Outras modificações neste programa foram: a introdução do termo ordem de uma reação, a introdução do método de isolamento, e da ideia de *meia vida* de um reagente.
- *Efeito da temperatura:* Um mínimo de energia é necessário para a ocorrência de uma reação está associado com uma “barreira de energia” (*E_a*, energia de ativação) para aquela reação. Portanto, pode-se entender que um aumento de temperatura aumenta o número de moléculas com energia necessária para transpor essa barreira de energia.

Pode-se observar nesse período de tempo, que Lewis (1918) propôs uma explicação para a ocorrência de uma reação química em termos moleculares, utilizando para isso a construção de um modelo teórico: a sua teoria da colisão. Uma explicação dessa natureza não foi realizada pelos cientistas do período anterior, mesmo que estes já pensassem em velocidade de uma reação química em termos de moléculas e átomos.

A ideia de barreira de energia, proposta por Arrhenius, possibilitou o entendimento mais amplo de uma reação química e principalmente facilitou o entendimento da ação dos catalisadores nas reações.

Até meados de 1930 importantes trabalhos experimentais em cinética foram realizados com base na interpretação da teoria da colisão, resultando em conclusões de considerável significância, mas estas interpretações, segundo Laidler (1993), foram sendo modificadas através de teorias mais sofisticadas, como a Teoria do estado de Transição.

PIC-IV: Programa de Investigação Científica de Eyring, Polanyi, Evans e Tolman, (1920-1935):

Núcleo duro: a velocidade de uma reação química pode ser calculada focalizando-se a atenção no complexo ativado. O complexo ativado de uma reação é a configuração onde o ponto de energia potencial é o mais alto, no qual as moléculas chegam a um grau de proximidade e distorção tais que qualquer distorção adicional as leva em direção aos

produtos (Teoria do Estado de Transição). A velocidade de uma reação é então determinada pela seguinte relação:

Velocidade = (concentração do complexo ativado)(frequência de decomposição do complexo ativado)*

Heurística positiva:

- *Efeito da concentração:* Uso da superfície de energia potencial para calcular a concentração dos reagentes. O complexo ativado é considerado como estando em um estado de quase-equilíbrio com os reagentes, de forma que suas concentrações podem ser calculadas. A velocidade da reação é proporcional à concentração do complexo ativado
- *Efeito da temperatura:* A energia de ativação adquire um novo significado. Ela agora está relacionada não mais a uma barreira de energia, mas sim a formação do complexo ativado. Quanto menor for a energia de ativação do complexo ativado, maior será a velocidade da reação.

A teoria do Estado de Transição foi uma tentativa de identificar os aspectos principais que governam o valor de uma constante de velocidade (equação de Arrhenius) em termos de um modelo de eventos que ocorrem durante a reação.

Com a teoria do Estado de Transição passou-se a explicar a velocidade de uma reação química em termos de quebra e formação de ligações químicas e não mais apenas, como na teoria das colisões, em termos de choques entre esferas sólidas.

Outro ponto importante é a interpretação da Energia de ativação que antes estava relacionada à barreira de energia de uma reação química, e que nesse período de tempo está relacionada a energia envolvida na quebra e formação de ligações químicas.

A teoria do Estado de Transição trouxe, portanto, um grande entendimento da ocorrência de uma reação química. Segundo Laidler (1993, p.249, tradução nossa):

Embora seja ainda difícil fazer cálculos confiáveis sobre velocidade com base na teoria do estado de transição, ou mesmo de qualquer teoria, a teoria do estado de transição tem-se revelado de grande valia no fornecimento de uma ferramenta de trabalho para aqueles que não estão muito preocupados em fazer cálculos precisos e sim em ganhar alguns insights sobre como os processos químicos e físicos ocorrem na química.

METODOLOGIA

Escolha dos livros didáticos

Os livros didáticos analisados foram obtidos de sebos, bibliotecas públicas, mas principalmente os mais antigos vieram da biblioteca da Faculdade de Educação, da

Universidade de São Paulo, da seção de livros didáticos antigos. Foram analisados 20 livros didáticos, dirigidos ao Ensino Médio, sendo que foram escolhidos não somente os mais utilizados, como também aqueles que apresentam propostas curriculares ou metodologias diferenciadas. No quadro 1 encontra-se a relação dos livros analisados.

Os livros didáticos foram agrupados em cinco períodos de tempo, que correspondem aos períodos de vigência das reformas educacionais, propostas pelo governo para o Ensino Médio, apenas com o objetivo de facilitar a análise.

Validação

Realizamos nesse trabalho, uma validação do instrumento de análise do livro didático com o objetivo de testar a aplicabilidade das categorias elaboradas neste trabalho. Três pesquisadoras, da área de ensino de química, analisaram de maneira independente um dos livros didáticos escolhidos por esse estudo (livro 5, quadro 1).

Essas pesquisadoras utilizaram os programas de investigação científica para identificar os níveis de explicação teóricos atingidos.

Na análise, houve divergência em relação à explicação que o livro possuía para a influência da concentração na velocidade de uma reação. Após discussão com as pesquisadoras, chegou-se a reformulação desse item. O instrumento foi aplicado novamente, e não houve divergências entre as análises.

QUADRO 1 – Relação dos Livros didáticos analisados.¹

Período	Número de ordem	Nome(s) do(s) autor(es)	Ano de edição
Primeiro (1929-1941)	(1)	Dr. Oliveira de Menezes	1929
	(2)	Miguel Tenório D'Albuquerque	1931
	(3)	Pe. Ignácio Puig S. J.	1932
Segundo (1942-1960)	(4)	Carlos Costa e Carlos Pasquale	1942
	(5)	Paulo Décourt	1946
	(6)	Geraldo Camargo de Carvalho, Waldemar Saffioti	1954
	(7)	Luciano Francisco Pacheco do Amaral	1955
	(8)	Luciano Francisco Pacheco do Amaral	1959

¹ As referências dos livros didáticos analisados se encontram no anexo I.

Período	Número de ordem	Nome(s) do(s) autor(es)	Ano de edição
Terceiro (1961-1970)	(9)	Irmão Firmino Bonato	1966
	(10)	Chemical Education Material Study.	1967
	(11)	Ricardo Feltre, Setsuo Yoshinaga;	1968
Quarto (1971-1995)	(12)	Ricardo Feltre	1976
	(13)	Yvone Mussa Esperidião, Naides de Cerqueira e Silva Alves de Lima	1977
	(14)	Antonio Sardella e Edegar Mateus	1979
	(15)	Geraldo Camargo de Carvalho	1980
	(16)	Otávio Aloísio Maldaner, Rui Zambiasi	1993
Quinto (1996-2004)	(17)	Vera Novais	1999
	(18)	GEPEQ	2001
	(19)	Geraldo Camargo de Carvalho, Celso Lopes de Souza.	2003
	(20)	Ricardo Feltre	2004

Análise dos livros didáticos

Para realizar a análise, utilizamos os quatro Programas de Investigação Científica, elaborados através da reconstrução histórica do desenvolvimento da cinética química, com o objetivo de evidenciar os níveis de explicação teórica atingidos em vinte livros didáticos. Assim, uma primeira tentativa de se explicar a velocidade das reações químicas (interação entre as substâncias que estão reagindo) seria fornecida pelo programa de Investigação Científica de Wilhelmy, Harcourt, Esson e Berthelot (1850-1865), a segunda explicação teórica, mais ampla envolvendo o conceito de energia crítica, para explicar a velocidade além dessa interação entre as partículas, já faz parte do Programa de Investigação Científica de Pfaundler e Van 't Hoff (1872-1888), uma terceira explicação teórica que inclui, além das condições do segundo modelo para que uma reação ocorra, a necessidade de uma certa frequência e orientação espacial nas colisões entre as partículas, sendo representada pelo Programa de Investigação Científica de Trautz-Lewis, Ostwald e Arrhenius (1889-1918) e finalmente uma explicação mais atualizada que inclui o conceito de complexo ativado, sendo fornecida pelo Programa de Investigação Científica de Tolman, Eyring, Polanyi, e Evans (1920-1935).

Uma importante observação deve ser feita em relação à escolha do modelo teórico para explicar o efeito da concentração na velocidade de uma reação. Consideramos neste trabalho que, se o autor do livro didático usar a Lei de Guldberg-Waage para relacionar a velocidade de uma reação química com a concentração das substâncias reagentes, não se pode utilizar os Programas de Investigação Científica para identificar esta explicação.

Os estudos de Guldberg e Waage tinham o foco na ideia de ação de forças químicas e não na ideia do curso de uma reação química, como era o caso dos estudos de Harcourt e Esson, que fazem parte do primeiro programa de investigação. Portanto, ao invés de se utilizar a notação de PIC (programa de investigação científica) utiliza-se a notação GW (Guldberg-Waage).

É importante esclarecer que nesta análise temos a consciência de que no livro didático, o conhecimento científico muitas vezes é apresentado de forma diferente do que está presente nos quatro programas de investigação científica. Nestes programas, pode-se observar, o desenvolvimento histórico do conhecimento científico visto através do olhar dos próprios cientistas e de historiadores da ciência. Mas, esse conhecimento às vezes da maneira que é apresentado, não é adequado para o entendimento dos estudantes do Ensino Médio, fazendo-se então necessária uma adaptação. Por exemplo, o cálculo diferencial e integral empregado no cálculo da velocidade de uma reação química nas pesquisas originais, não pertence ao currículo do Ensino Médio em muitas das escolas brasileiras, então, este cálculo é substituído pelo conceito da velocidade média, onde as operações matemáticas são mais simples.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Nos livros didáticos analisados a teoria das colisões proposta por Lewis (1918), presente no PIC-III, que foi a primeira teoria que explicou, em termos microscópicos, a velocidade de uma reação, começou a aparecer a partir do ano de 1967, 49 anos depois de ser formulada (tab.1). A transposição didática dessa teoria para o livro didático demorou um período de tempo relativamente grande.

Já a teoria do Estado de Transição (LAIDLER, 1983) presente no PIC-IV começou a ser utilizada pelos autores dos livros didáticos para explicar a velocidade de reação, em termos microscópicos, a partir de 1967 (livro 10, quadro 1), portanto, 32 anos após a sua aceitação pela comunidade científica. Provavelmente, esse menor período de tempo se deve à influência do projeto norte-americano que visava a formação de um maior número de cientistas, portanto, o livro didático deveria possuir conhecimentos científicos mais atualizados. Em tal projeto, segundo seus autores, é “[...] dada ênfase aos princípios químicos em detrimento da Química descritiva para retratar convenientemente a evolução da Química nas duas últimas décadas” (os autores se referem às décadas de 40 e 50).

Esta nova forma de se olhar para a velocidade de uma reação química, utilizando-se o modelo explicativo denominado teoria do Estado de Transição (PIC-IV), é bastante diferente daquela iniciada por Wilhelmy em 1850 (PIC-1), onde os estudos cinéticos eram praticamente empíricos e não se possuía um entendimento, em termos de microscópicos, da velocidade de uma reação. Portanto, através da substituição de um programa de investigação por outro, pode-se perceber quanto o entendimento envolvido na cinética química mudou e que provavelmente continuará mudando nos próximos anos. Esta visão dinâmica da ciência se estiver presente no livro didático, segundo Níaz (2001), talvez ajude os alunos a entender melhor o processo de construção do conhecimento científico.

A Lei de Guldberg-Waage é utilizada pelos autores de 11 livros didáticos, até o ano de 1993 (tab.1) para explicar a influência da concentração na velocidade de uma reação, nos demais livros essa influência é explicada a partir da lei de velocidade de Van't Hoff (PIC-II). Uma diferença importante entre as duas equações é que na de Van't Hoff a ordem é determinada experimentalmente, enquanto que a ordem na Lei de Guldberg-Waage é determinada pela soma dos coeficientes estequiométricos de uma reação. Portanto, a lei de Guldberg-Waage somente seria correta, segundo Pereira (2004), quando a reação química ocorresse conforme está escrita, o que corresponde a se afirmar que se trata de uma etapa elementar do mecanismo. Mas, mesmo colocando-se limitações ao uso da Lei de Guldberg-Waage, o aluno pode ficar com a ideia de que esta é uma lei geral que pode ser aplicada a todas reações químicas.

Os livros didáticos mais recentes já começam a enfatizar a forma experimental da determinação de uma lei cinética, e conseqüentemente da ordem de uma reação.

No início do período de tempo estudado neste trabalho, 1929, até o ano de 1966, não havia a preocupação por parte dos autores de explicar a influência, em termos microscópicos, da temperatura na velocidade de uma reação, com exceção dos livros de 1942 e 1946, cuja explicação é coerente com a do terceiro programa de investigação científica (LEWIS, OSTWALD; ARRHENIUS; 1889-1918). A teoria do estado de transição começou a ser utilizada para explicar a influência da temperatura na velocidade de uma reação química a partir do ano 1967 (livro 10, quadro 1). E mesmo assim, alguns livros mais atuais, ainda não a utilizam para explicar o efeito da temperatura na velocidade.

O Chem-study (livro 10, quadro 1), foi o primeiro livro editado no Brasil a abordar teorias mais atuais, como já foi mencionado anteriormente. Esse material foi elaborado visando à introdução de um conteúdo científico mais atualizado, dentro de uma visão considerada mais moderna de ensino:

O vertiginoso desenvolvimento da Ciência e tecnologia contemporânea tornou imperioso que se cuidasse, não só da atualização, mas até da reformulação do ensino de Química na escola secundária. (CHEM-STUDY, p.5, 1967)

Essa forma de abordar o conhecimento científico também está presente no livro das autoras Esperidião & Lima (livro 13, quadro 1), que elaboraram seu material tendo como referência o Chem-study (livro 10, quadro 1).

TABELA 1 – Caracterização dos livros didáticos (1929-2004).

Período	LD/Ano	Programas de Investigação Científica		
		Velocidade de uma reação química em termos microscópicos	Efeito da Concentração	Efeito da Temperatura
1929-1941	1/1929	PIC-I	GW	A
	2/1931	A	PIC-I	PIC-I
	3/1932	PIC-I	PIC-I	A
1942-1960	4/1942	PIC-I	GW	PIC-II
	5/1946	PIC-I	GW	PIC-II
	6/1954	A	GW	PIC-I
	7/1955	PIC-I	PCI-I	PCI-I
	8/1959	A	GW	PCI-I
1961-1970	9/1966	PIC-I	GW	PIC-I
	10/1967	PIC- IV	PIC-III	PIC-IV
	11/1968	A	GW	A
1971-1995	12/1976	PIC-IV	GW	PIC- IV
	13/1977	PIC-IV	PIC-III	PIC-IV
	14/1979	PIC-III	GW	PIC-II
	15/1980	PIC-III	GW	PIC-III
	16/1993	PIC-IV	GW	PCI-I
1996-2004	17/1999	PIC-IV	PIC-III	PIC-III
	18/2001	PIC-IV	PIC-IV	PIC-IV
	29/2003	PIC-IV	PIC-III	PIC-III
	20/2004	PIC-III	PIC-III	PIC-IV
Total = 20		A = 4	A = 0	A = 3
		PIC-I = 6	PIC-I = 3	PIC-I = 6
		PIC-II = 0	PIC-II = 0	PIC-II = 3
		PIC-III = 3	PIC-III = 5	PIC-III = 3
		PIC-IV = 7	PIC-IV = 1 GW = 11	PIC-IV = 5

Nota: PIC-I: Programa de Investigação Científica de Wilhelmy, Harcourt, Esson e Berthelot (1850-1865); PIC-II: Programa de Investigação Científica de Pfaundler e Van't Hoff (1872-1888); PIC-III: Programa de Investigação Científica de Lewis, Ostwald e Arrhenius (1889-1918); PIC-IV: Programa de Investigação Científica de Tolman, Eyring, Polanyi, e Evans (1920-1935); GW: Guldberg-Waage; A: indica a ausência da explicação teórica no LD.

CONCLUSÕES E CONSIDERAÇÕES

Segundo Vincent e Stengers (1992), “[...] a cinética é uma hipótese realista, implica que as moléculas dos químicos sejam efetivamente reconhecidas como entidades discretas, susceptíveis de movimento, de colisão, ou seja, de comportamento individual”. E isso pode ser observado desde o início dos estudos das velocidades das reações químicas, onde se pode constatar a preocupação dos cientistas em propor uma explicação microscópica do processo, isto é, os cientistas sempre buscaram entender a velocidade de uma reação química em termos atômico-moleculares, utilizando para isso a construção de modelos teóricos.

Nos livros didáticos analisados, percebe-se a dificuldade de os autores fazerem propostas que permitam uma aprendizagem por parte dos alunos dentro da visão microscópica. Os alunos dificilmente são motivados a construí-la, mas são frequentemente informados destas ideias científicas de forma pronta e acabada. O que se nota na maioria dos livros didáticos é a ênfase dada ao aspecto empírico e matemático no tratamento dos conceitos envolvidos no tema cinética química.

Segundo Justi (1997), as possíveis justificativas para esse tipo de abordagem seriam: a familiaridade dos estudantes com as leis da mecânica, o que poderia facilitar o entendimento destas ideias, ou a grande ênfase que é dada à abordagem matemática no ensino de química em geral.

É interessante notar, que alguns dos autores dos livros analisados, utilizam mais de um programa de investigação para explicar a velocidade de uma reação e os fatores que a influenciam. Alguns livros durante a explicação teórica, transitam de um programa para outro seguindo uma ordem de um programa de menor poder explicativo para outro de maior, com o objetivo de mostrar a evolução teórica caracterizando assim a mudança de Programas de Investigação Científica, ou seja, caracterizando assim o desenvolvimento da ciência.

Acredita-se nesse trabalho que ao planejar o ensino de cinética química, o professor pode utilizar os programas de investigação científica para que o aluno entenda a evolução histórica dos modelos explicativos, entenda, portanto, como esses modelos vão sendo substituídos por outros com maior poder explicativo, evitando assim um ensino estanque e fragmentado.

Portanto, o estudo da cinética química, a partir dos programas de investigação científica, pode ajudar a caracterizar a ciência como uma construção humana que visa aumentar o conhecimento do homem sobre o mundo natural, ajudá-lo a resolver determinados problemas e também melhorar as suas condições de vida.

Outro ponto que se pode levar em consideração no planejamento do ensino desse tópico, seria fazer um paralelo entre o conhecimento que o aluno possui e o conhecimento científico de cada programa de investigação científica. Assim, o professor poderá identificar qual é grau de conhecimento que o aluno possui dentro do tópico cinética química, sendo esse o primeiro passo para superar as dificuldades na aprendizagem deste tópico.

REFERÊNCIAS

- CACHAPUZ, A; C. Imagens de ciência em manuais de química portugueses. *Química Nova na Escola* n.6, p.23-29, 1997.
- CHIAPPETTA, E. L.; SETHENA, H. G.; FILLMAN, D. A. A Quantitative Analysis of High School Chemistry Textbooks for Scientific Literacy Themes and Expository Learning Aids. *Journal of Research in Science Teaching* v.28, n.10, p.939-951, 1991.
- JUSTI, R.; GILBERT, J. K. History and Philosophy of Science Through Models: The Case of Chemical Kinetics. *Science and Education*, 8;287-307, 1999.
- JUSTI, R. *Models in the Teaching of Chemical Kinetics*. Tese de Doutorado. University of Reading, 1997.
- LAKATOS, I. *História da ciência e suas reconstruções racionais*. Biblioteca de Filosofia Contemporânea. Edições 70; 1998.
- _____. *Falsificação e metodologia dos programas de investigação científica*. Biblioteca de Filosofia Contemporânea. Edições 70, p.54-64, 1999.
- LAIDLER, K. J. *The World of Physical Chemistry*. Oxford Univ. Press, p.233-283, 1993.
- LEWIS, W. C. M. Studies in Catalysis. Part IX. The Calculation in Absolute Measure of Velocity Constants and Equilibrium Constants in Gaseous Systems. *Journal of the Chemical Society*, n.113 p.471-491;1918.
- LERMAN, Stephen. Theorias as intellectual resources in mathematics education researches. Teorias como recursos intelectuais na pesquisa em educação matemática. *Acta Scientiae. Revista de Ensino de Ciências e Matemática*, v.10, n.1, jan./jun., p.17-26, 2008.
- LISO, R. J.; TORRES, E. M.; LOPEZ, F. S. Los procesos ácido-base en los textos actuales y antiguos (1868-1955). *Educación Química* 13 (2), p.90-100, 2002.
- LOPES, R. C. A. Livros didáticos: obstáculos ao aprendizado da ciência química. *Química Nova*, 15(3), p.254-261, 1992.
- MORENO, M.; SASTRE, G.; BOVET, M.; LEAL, L. *Conhecimento e mudança. Os modelos organizadores na construção do conhecimento*. Editora da Unicamp. Editora Moderna, p.327-334, 2000.
- NÍAZ, M. Más allá del positivismo: una interpretación lakatosiana de la enseñanza de las ciencias. *Enseñanza de las Ciencias*, 12(1), p.97-100,1994.
- _____. Teaching Chemistry as Rhetoric of Conclusions or Heuristic Principles – A History and Philosophy of Science Perspective. *Chemistry Education: Research and Practice in Europe* (1), p.315-322, 2000.
- _____. How Important are the Laws of Definite and Multiple Proportions in Chemistry and Teaching Chemistry? A History and Philosophy of Science Perspective. *Science & Education* (10), p.243-266, 2001.
- PESSANHA, E. C; MENEGAZZO, D. Da história das disciplinas escolares à história da cultura escolar: uma trajetória de pesquisa. *Revista Brasileira de Educação*. Rio de Janeiro, n.27, p.57-69, 2004.
- PEREIRA, N. J. C. *Reflexões sobre conceitos da cinética química e equilíbrio químico*. Ed. do Autor, p.1-40, 2004.

SCHNETZLER, R. P. *O tratamento do conhecimento químico em livros didáticos brasileiros para o ensino secundário de química de 1875 a 1978*. Dissertação de Mestrado Unicamp – Faculdade de Educação, 1980.

VILLANI, A.; PACCA, J. L. de A.; FREITAS, D. *Formação do professor de ciências no Brasil: tarefa impossível?* Departamento Metodologia de Ensino – UFSCar – São Carlos. p.1-20. 2005. <http://www.sbf1.sbfisica.org.br/eventos/epef/viii/PDFs/CO21_3.pdf> Acesso em out. 2006.

VINCENT, B. B.; STENGERS, I. *História da Química*. Instituto Piaget. p.309-345.1992.

Recebido em: jun. 2013

Aceito em: mar. 2014

ANEXO I – LIVROS DIDÁTICOS ANALISADOS

Livros Didáticos do Primeiro Período (1929-1941)

1. Noções Succintas de Chimica Philosophica. Dr. Oliveira de Menezes. 4.ed. Jacinto Ribeiro dos Santos – Editor. Rio de Janeiro, p.125-130, 1929.
2. Apontamentos de Chimica Geral. Miguel Tenório D’Albuquerque. Jacinto Ribeiro dos Santos – Editor. Rio de Janeiro, p.264-265, 1931.
3. Curso Geral de Química. Pe. Ignácio Puig S. J. Edição da Livraria do Globo – Porto Alegre; Capítulo II: Estudo sobre Reação Química, p.12-18, 1932.

Livros Didáticos do Segundo Período (1942-1960)

4. Química – 3º volume. Carlos Costa e Carlos Pasquale; Capítulo: Velocidade das reações e fatores que modificam a velocidade das reações, p.85-90, 1942.
5. Química – 3º Livro – Ciclo Colegial. Paulo Décourt. Edições Melhoramentos – São Paulo; Unidade XII – Cinética Química, p.366-375. A velocidade de reação e seus fatores. Estudo dos equilíbrios químicos. Catálise, 1946.
6. Química para o terceiro ano colegial (curso científico). 2.ed. Geraldo Camargo de Carvalho, Waldemar Saffioti. Companhia Editorial Nacional – São Paulo; Unidade XVI: Cinética das reações: conceito de velocidade de reação, fatores que a influenciam. Catálise, p.363-377, 1954.
7. Química. Primeira Série. Curso Colegial. Coleção Didática do Brasil, Série Colegial, Vol. 9. Luciano Francisco Pacheco do Amaral. Editora do Brasil S/A – Porto Alegre, Capítulo XI – Reações Químicas, p.195-199, 1955.
8. Química. Terceira Série. Luciano Francisco Pacheco do Amaral. Editora do Brasil S/A – Porto Alegre; Capítulo XI – Cinética química, p.257-269, 1959.

Livros Didáticos do Terceiro Período (1961-1970)

9. Química. Terceira Série. Curso Colegial. 9.ed. Irmão Firmino Bonato. Editora F. T. D. S/A – São Paulo; Capítulo XV – Cinética das reações. Catálise, p.208-310, 1966.
10. Química. Uma ciência experimental. Volume 1. Texto organizado pelo Chemical Educational Material Study. EDART – São Paulo – Livraria Editora LTDA. Capítulo 8. “As Velocidades das Reações químicas”, p.129-146, 1967.

11. Físico-química. Volume 3. Ricardo Feltre, Setsuo Yoshinaga; Capítulo 6 – Cinética e equilíbrio químico, p.307-310, 1968.

Livros Didáticos do Quarto Período (1971-1995)

12. Química. Segundo grau. Volume dois. Ricardo Feltre. Editora Moderna – São Paulo; Capítulo 4 – Cinética química e catálise, p.182-286, 1976.
13. Química dos experimentos as teorias. Volume 2. Yvone Mussa Esperidião, Naídes de Cerqueira e Silva Alves de Lima. Companhia Editora Nacional – São Paulo; Unidade 6 – Velocidade das reações químicas, p.61-76, 1977.
14. Química Fundamental. Volume 2. Antonio Sardella e Edegar Mateus. Capítulo de Cinética química, p.98-110, 1979.
15. Química Moderna. Terceiro Volume. Geraldo Camargo de Carvalho. Livraria Nobel – São Paulo. Capítulo 20 – Cinética Química, p.149-182, 1980.
16. Química 2. Consolidação de conceitos fundamentais. Otávio Aloísio Maldaner, Rui Zambiasi. Editora UNIJUI-RS; Capítulo 4 – Cinética Química – Princípios, p.83-96, 1993.

Livros Didáticos do Quinto Período (1996-2004)

17. Química 2. Vera Novais. Atual Editora – São Paulo. Capítulo 6 – Velocidade das Reações – A Cinética Química, p.130-168, 1999.
18. Química – Ensino Médio. Interações e Transformações II. Reelaborando Conceitos sobre Transformações Químicas (Cinética e Equilíbrio). GEPEQ. Edusp – São Paulo, 2001.
19. Química. Volume Único para o Ensino Médio. Geraldo Camargo de Carvalho, Celso Lopes de Souza. Editora Scipione – São Paulo. Capítulo 18 – Cinética Química, p.226-240, 2003.
20. Química. Físico-Química. Ricardo Feltre. Editora Moderna – São Paulo. Capítulo 4. Cinética química, p.143-179, 2004.