

A INTERMEDIACÃO DA NOÇÃO DE PROBABILIDADE NA CONSTRUÇÃO DE CONCEITOS RELACIONADOS À CINÉTICA QUÍMICA

The mediation of the notion of probability in the development of the chemical kinetics concepts in the High School

Marcelo Maia Cirino¹

Aguinaldo Robinson de Souza²

Ourides Santin Filho³

Marcelo Carbone Carneiro⁴

Resumo: Este trabalho procurou identificar como estudantes do Ensino Médio se apropriam de conceitos e elaboram determinados modelos inseridos em cinética química, especificamente o modelo cinético de colisão de partículas numa reação (Teoria das Colisões). Esta análise e as reflexões que a seguiram foram baseadas, sobretudo, nos estudos realizados por Piaget, Piaget e Inhelder, Jun e Fischbein. Utilizamos como documentos as transcrições das entrevistas (pré e pós-testes) realizadas individualmente com cada aluno. Inicialmente, os estudantes foram entrevistados (pré-testes) com o intuito de identificar a familiaridade com a noção de evento probabilístico ou aleatório. Numa segunda etapa (pós-testes), esse conhecimento (ou a ausência parcial/total dele) foi posto à prova numa tentativa de se estabelecerem relações com um conteúdo específico da Química (Teoria das Colisões). Os resultados obtidos apontam para grandes discrepâncias entre o modelo cinético de colisões elaborado pelos estudantes e aquele cientificamente aceito.

Palavras-chave: Probabilidade. Cinética química. Teoria das colisões.

Abstract: In this work we analyze the way the high school students appropriate the concepts and models related to Chemical Kinetics, mainly the kinetic model of collision between particles in chemical reaction (Collision Theory Model). This investigation was based on the studies of Piaget and Inhelder, of Piaget, Jun, and on Fischbein works, who have analyzed if young students exhibit some kind of probabilistic thinking. The methodology was based on pre and post-tests, questionnaires and on interviews. The analysis of these documents showed how the students deal with concepts about probability and how they correlate these concepts with the particles collision kinetic model in Chemistry.

Keywords: Probability. Chemical kinetics. Collision theory model.

¹Doutorando do Programa de Pós-Graduação em Educação para a Ciência da Unesp/Bauru. Docente, Departamento de Química da Universidade Estadual de Maringá (UEM). Maringá, PR. mmcirino@uem.br

²Livre docente. Departamento de Química, Faculdade de Ciências da Universidade Estadual Paulista (Unesp). Bauru, SP. arobinso@fc.unesp.br

³Docente do Departamento de Química, UEM. Maringá, PR. osantin@uem.br

⁴Docente da Faculdade de Arquitetura, Artes e Comunicação, Unesp. Bauru, SP. carbone@faac.unesp.br

Introdução

No ensino de Ciências, particularmente no ensino de Química, o professor se depara, frequentemente, com alguns conteúdos que exigem do aprendiz determinadas habilidades e estruturas cognitivas que possam dar conta de elaborar conceitos que dependem da noção de probabilidade. No nível médio, a Química introduz e desenvolve vários desses conceitos que se relacionam parcial ou completamente com a idéia de evento probabilístico, tais como:

- . o conceito de *mistura* de substâncias no estudo das soluções,
- . o conceito de *emissão e decaimento* radioativos no estudo da radiatividade,
- . a teoria cinética dos gases ideais e o conceito de *caminho livre médio*,
- . os conceitos de *orbital*, de *onda-partícula*, de *salto quântico* e *hibridização* e a interpretação do *princípio da incerteza* na teoria atômica moderna,
- . os conceitos de *colisão efetiva* e *complexo ativado* na teoria cinética das colisões,
- . os conceitos relacionados ao *equilíbrio químico*,
- . os conceitos relacionados à *entropia* e *energia livre de Gibbs*, em especial na formulação da segunda lei da Termodinâmica.

Em seu discurso, o professor de Química, com frequência utiliza palavras, expressões ou mesmo terminologias que remetem aos conceitos probabilísticos. Podemos citar, como exemplo, as situações em que se fala sobre o “movimento aleatório” das moléculas, ou “misturas casuais” de soluto e solvente, ou, ainda, sobre a “chance” de haver colisões efetivas, relacionada às energias de ativação numa reação. Também os livros didáticos de Química destinados ao Ensino Médio, em sua maioria, nos capítulos que abordam os conteúdos citados acima, fazem uso de expressões derivadas da teoria das probabilidades. Como tais conteúdos são de extrema importância no que diz respeito ao entendimento dos fenômenos submicroscópicos a que se referem, e, mais ainda, considerando-se que a elaboração desses conceitos depende de generalizações e da utilização correta da teoria das probabilidades, esta pesquisa investigou se alunos da última série do Ensino Médio conseguem fazê-lo e como o fazem. Escolhemos a “*Teoria das Colisões*” como tema de estudo principal de nossa pesquisa, pois entendemos que a compreensão essencial de sua proposta facilita e, de certa forma, orienta a formação de conceitos e a elaboração de modelos ligados à “cinética química” (como “velocidade de reação”, “fatores que interferem na velocidade”, e “equilíbrio químico”).

Os sujeitos da pesquisa foram estudantes da terceira série do Ensino Médio de uma escola da rede particular, mas oriundos, todos deles, da rede estadual. Essa turma era composta por 26 alunos, dos quais 15 foram escolhidos para a investigação, segundo critérios de desempenho escolar, baseados no aproveitamento e participação dos mesmos nas aulas, até o terceiro bimestre, pois a coleta de dados foi realizada nos meses de setembro, outubro e novembro de 2006. A disciplina de Química era ministrada por dois professores, que dividiam o conteúdo curricular em Química Orgânica, Química Geral e Físico-Química. Ao todo, os alunos assistiam a cinco aulas de Química por semana, sendo duas de Química Orgânica e as três restantes de Química Geral e Físico-Química.

Com autorização prévia dos professores e da direção da escola, entrevistamos os alunos escolhidos nas dependências da própria escola num período fora do horário das aulas, gravando as entrevistas em áudio digital e recolhendo as participações nos experimentos e

testes escritos. Os testes e as entrevistas a que foram submetidos os alunos se basearam nos trabalhos de Piaget (1978, 1975a, 1975b) e, sobretudo, no trabalho de Piaget e Inhelder (1975) sobre a gênese da idéia de aleatoriedade em crianças e adolescentes. Utilizamos, também, os resultados de uma pesquisa desenvolvida na China, na forma de tese de doutoramento, na Universidade de Nanyang, sobre a utilização do conceito de “*probabilidade*” por jovens do Ensino Superior em cursos da área de ciências (JUN, 2000). Utilizamos, como documentos, as transcrições das entrevistas (pré e pós-testes) realizadas individualmente com cada aluno participante. A análise e a interpretação desses documentos tiveram como objetivo avaliar nossas hipóteses, pois esperávamos ser possível, tomando como base o trabalho de Piaget e Inhelder (1975), identificar se os alunos investigados seriam capazes de generalizar e elaborar conceitos acerca da “Teoria cinética das colisões” lançando mão de elementos da teoria das probabilidades. Inicialmente, os estudantes foram entrevistados (pré-testes) com o intuito de identificar a familiaridade com a noção de evento probabilístico ou aleatório. Numa segunda etapa (pós-testes), esse conhecimento (ou a ausência parcial/total dele) foi posto à prova numa tentativa de se estabelecerem relações com um conteúdo específico da Química, ou seja, com a “Teoria das Colisões”. Tentamos esclarecer as seguintes questões:

- 1) O estudante do Ensino Médio se utiliza da noção de acaso/probabilidade para elaborar seu modelo de colisão de partículas no estudo de cinética química ?
- 2) Quando ele se utiliza dessa noção probabilística, percebe que os conteúdos relacionados à cinética química (os conceitos de velocidade de reação, energia de ativação, complexo ativado, geometria e frequência de colisão) são baseados num modelo casuístico?
- 3) Essa percepção melhora o nível de elaboração conceitual do modelo cinético de colisões ?

Terminadas as entrevistas dos pós-testes, na segunda etapa da pesquisa, classificamos as respostas e as transcrições das falas, em categorias. Essas categorias não foram, em princípio, preestabelecidas, ou seja, não são as chamadas categorias *a priori*. Elas emergiram do agrupamento progressivo de seus elementos e tiveram as definições de seus títulos somente ao final do processo. Como referencial teórico para análise das transcrições e das intervenções dos estudantes entrevistados, utilizamos a “*análise textual discursiva*”, que é uma abordagem de análise de dados que transita entre duas formas consagradas de análise na pesquisa qualitativa, que são: a “*análise de conteúdo*” e a “*análise de discurso*” (MORAES, GALIAZZI, 2007, 2006 2003a, 2003b; MORAES, 2005; MORAES, GALIAZZI, RAMOS, 2005).

A importância do ensino de Estatística e Probabilidade na Educação Básica

Segundo muitos pesquisadores ligados à área de educação, a verdadeira e principal vocação da escola deveria ser o compromisso com a formação de cidadãos críticos que possam se inserir na realidade sociocultural contemporânea. A preparação dessa cidadania destina-se a desenvolver, no aluno, habilidades para enfrentar desafios impostos pela sociedade, ao mesmo tempo em que se pretende resgatar valores éticos e morais. Nesse sentido, a aprendizagem da Probabilidade e Estatística pode contribuir, também, no desenvolvimento do espírito crítico, na capacidade de analisar, tomar decisões e interferir no processo. Para Borovcnik e

Peard (1996), existem duas razões que legitimam a introdução das probabilidades no currículo escolar em qualquer nível. A primeira resulta da perspectiva do pensamento probabilístico como um tipo específico de pensamento, tal como o pensamento geométrico e o pensamento algébrico. Face à matemática, as probabilidades constituem uma oportunidade de questionar a dicotomia *verdade* versus *falsidade*, acrescentando às duas a categoria do *possível*. Estes autores destacam ainda a importância do valor *aproximado* em relação ao valor *exato*, e ressaltam a impossibilidade de se controlar o resultado de uma única experiência. Este tipo de pensamento pode, sem dúvida alguma, se beneficiar do estudo das probabilidades na escola. Uma segunda razão deriva da sua utilidade em termos de *aplicações*. Todavia, o âmbito destas *aplicações* deve ser relativizado, conforme os modelos probabilísticos modelem diretamente a realidade ou o façam por meio da estatística. No caso dos métodos estatísticos, por se basearem no raciocínio probabilístico, verifica-se que as aplicações das probabilidades são inúmeras na vida social e nas ciências, o que confere às probabilidades uma grande importância. Na visão de Rotunno (2002), a Matemática não deve ser apenas determinista. A incerteza, a aleatoriedade e a estimativa são características fundamentais do mundo contemporâneo. O ensino de Probabilidade e Estatística desde o nível fundamental pode propiciar ao aluno condições de conviver com esses aspectos de modo natural. A partir desse pressuposto é evidenciado um movimento no qual Probabilidade e Estatística tomam espaços cada vez maiores no currículo escolar. O que era voltado apenas para o Ensino Médio, já se mostra necessário desde as séries iniciais. Segundo Lopes (1998, p. 12)

[...] é papel da escola proporcionar ao estudante, desde a Educação Infantil, a formação de conceitos estatísticos e probabilísticos que o auxiliarão no exercício de sua cidadania. Pois ao cidadão não basta entender as porcentagens expostas em indícios estatísticos, como o crescimento populacional, taxas de inflação, desemprego, entre outras. É preciso que ele saiba analisar, relacionar criticamente os dados apresentados, questionando, ponderando até mesmo sua veracidade.

O principal problema é que a grande maioria de nossas escolas (públicas e principalmente a rede privada) tem, segundo Lopes (1998), reforçado essa visão determinista, levando os alunos a adquirirem a impressão de que cada pergunta tem uma única resposta simples e clara, desconsiderando um possível intermediário entre o verdadeiro e o falso, discutindo uma única solução para cada problema. Godino, Batanero e Cañizares (1996), citando Fischbein (1975), destacam o caráter exclusivamente determinista dos atuais currículos em Ciências e Matemática e a necessidade de se mostrar aos alunos uma imagem mais equilibrada da realidade.

No mundo contemporâneo, a educação científica não pode reduzir-se a uma interpretação unívoca e determinista dos acontecimentos. Uma cultura científica eficiente reclama uma educação no pensamento estatístico e probabilístico. A intuição probabilística não se desenvolve espontaneamente, exceto dentro de um limite muito estreito. A compreensão, interpretação, avaliação e predição de fenômenos probabilísticos não podem ser confiadas à intuição primária que tem sido tão des-

prezada, esquecida e abandonada em um estado rudimentar de desenvolvimento. (GODINO, BATANERO, CAÑIZARES, 1996, p. 12)

Já conforme Trompler (1982), o ensino de Probabilidade e Estatística em ciclos anteriores à graduação é de fundamental relevância porque representa uma maneira de pensar desconhecida em outros ramos da matemática, embora subjacente a todas as ciências experimentais. Confronta o estudante com resultados menos absolutos do que este está acostumado, mostra que ele pode conduzir um raciocínio rigoroso mesmo sabendo que está cometendo erros, e o ensina a como enfrentar tais erros. Humaniza a Matemática pela ligação com problemas do cotidiano - já que relaciona ciências experimentais, naturais, econômicas e sociais de todos os tipos - e a utiliza como ferramenta de trabalho (TROMPLER, 1982). Os próprios Parâmetros Curriculares Nacionais (BRASIL, 1999) recomendam o trabalho com Estatística e Probabilidade com a finalidade maior de que o estudante construa procedimentos para coletar, organizar, comunicar e interpretar dados, utilizando tabelas, gráficos e representações, e que seja capaz de descrever e interpretar sua realidade, usando conhecimentos matemáticos. Mais especificamente em relação à Probabilidade, consideram que esta pode ajudar na compreensão de grande parte dos acontecimentos da vida cotidiana que são de natureza aleatória, possibilitando a identificação de resultados possíveis desses acontecimentos. Destacam o acaso e a incerteza, que se manifestam intuitivamente, cabendo, portanto, à escola propor situações em que as crianças possam realizar experimentos e fazer observações dos eventos. Os PCNs indicam também que a coleta, a organização e descrição de dados são procedimentos utilizados com muita frequência na resolução de problemas, e estimulam as crianças a: fazerem perguntas, estabelecerem relações, construir justificativas e desenvolverem o espírito de investigação. Sugerem ainda que, nos dois primeiros ciclos, desenvolvam-se atividades relacionadas a assuntos de interesse dos estudantes, que se proponha observação de conhecimentos, que se promovam situações para se fazerem previsões, e que algumas noções de probabilidade sejam desenvolvidas. Assim, os PCNs justificam o ensino da Probabilidade e da Estatística acenando para a necessidade de o indivíduo compreender as informações veiculadas, tomar decisões e fazer previsões que influenciam sua vida pessoal e social. Mas, conforme Lopes e Moran (1999), ao descreverem as noções de estatística, probabilidade e combinatória, não o fazem de forma integrada, podendo deixar ao professor a idéia de compartimentalização desses temas. Ainda segundo estas pesquisadoras, os PCNs ressaltam a necessidade de se calcular medidas estatísticas ou probabilísticas, sem se preocupar com a ênfase de que o mais importante é saber o que cada medida significa, e não simplesmente efetuar os cálculos. Outra crítica pertinente é que, também, nos livros didáticos destinados ao Ensino Fundamental e Médio, estes dois temas não se complementam:

[...] o fato é que as atividades propostas nos livros didáticos são permeadas por uma concepção de ensino de estatística e probabilidade bastante compartimentalizada, como se os conceitos estatísticos e probabilísticos não se relacionassem. Essa forma de olhar o ensino desses temas se contrapõe ao trabalho que recomenda o ensino da probabilidade inseparável da estatística, ou seja, da Estocástica. (LOPES, MORAN, 1999, p. 170)

A *Estocástica* possibilita a ruptura com uma visão linear de currículo por sua própria natureza interdisciplinar, pois quando se explora uma determinada situação-problema, utilizam-se diferentes conceitos matemáticos e se estabelecem distintas relações, sem se ficar preso à limitação do conteúdo proposto para cada série (LOPES, 1998).

Uma revisão da literatura sobre o tema “Cinética Química”

Em nosso levantamento bibliográfico, encontramos alguns trabalhos relacionados ao ensino de “*cinética química*” no Ensino Médio, como o de Justi e Ruas (1997) acerca da representação submicroscópica do modelo cinético. Para estas autoras o ensino de cinética química no nível médio focaliza essencialmente o motivo de diferentes reações ocorrerem com velocidades diferentes, assim como a razão de alguns fatores poderem alterar a velocidade das reações químicas e a forma como isso acontece. Segundo as autoras, a grande maioria dos alunos apresenta idéias muito confusas a respeito do que é e de como se processa uma reação química. Muitas vezes, essas idéias se resumem a descrições macroscópicas do fenômeno ou são fundamentadas em uma concepção contínua da matéria. Na pesquisa desenvolvida por elas numa escola de Belo Horizonte, o dado mais surpreendente foi que nenhum aluno entrevistado (alunos da segunda série do Ensino Médio de uma escola particular) considerou a questão da movimentação das partículas envolvidas numa reação química, embora 17% deles tenham representado rearranjo de átomos durante o processo em seus desenhos. Curiosamente, como não se pode pensar em rearranjo sem movimentação das partículas, as autoras apontam para uma espécie de “dissociação” dos fenômenos por parte dos estudantes, ou seja, os alunos não estariam entendendo a química como um todo, mas como pedaços isolados de conhecimento, utilizáveis apenas em determinadas situações. Em muitos casos, foi possível observar a coexistência da teoria das colisões com uma visão contínua da matéria:

Nesses casos, a utilização de uma ou outra dependeu da natureza da solicitação, sendo que, quando esta envolvia a explicações de fenômenos considerados “científicos” pelos alunos, eles utilizavam a teoria das colisões e pareciam “dominar” o conteúdo de cinética estudado; quando a solicitação relacionava-se com fenômenos mais simples ou cotidianos, os alunos utilizavam idéias que se mostravam mais úteis para eles no mundo “fora da escola”. Para esses alunos, o que eles aprendem na escola não representa o modo como o mundo funciona. (DISESSA, 1993, citado por JUSTI, RUAS, 1997, p. 27)

Numa outra pesquisa, desenvolvida por Beltran (1997), com alunos da terceira série do Ensino Médio de uma escola pública de São Paulo, sobre a utilização da teoria das colisões, os resultados apontaram para uma concepção de “simultaneidade” e “sincronia” no comportamento das partículas que participam de uma reação química. Analisando as respostas das entrevistas realizadas com os alunos, o autor se deparou com um grande número de afirmações do tipo: “Elevando a temperatura, as moléculas recebem mais energia, fazendo com que elas, ao se chocarem, atinjam o complexo ativado com maior facilidade, pois os choques acontecerão com maior energia cinética” (BELTRAN, 1997, p. 16).

A constatação do autor foi de que a grande maioria dos alunos achava que “todas” as moléculas atingem a energia do complexo ativado ao receberem calor, e, portanto, “todas” elas têm a mesma energia. Além disso, “todas” conseguem estabelecer colisões efetivas ao mesmo tempo. A explicação para a simultaneidade e a sincronia concebida pelos alunos, em nossa opinião, carece de investigação mais acurada, mas pode estar relacionada com a não utilização da teoria das probabilidades e pela ausência da percepção/conceituação de que os choques são aleatórios e casuais num espaço tridimensional, pois muitos alunos representaram as moléculas como “planas” e colidindo numa única dimensão. Já o trabalho de Greca e Santos (2005) investigou a prática de ensino de Ciências centrada na modelagem, que é considerada uma das estratégias didáticas mais efetivas para a melhoria da compreensão dos conceitos científicos. Nessa pesquisa, as autoras sugerem que muitos modelos químicos não envolvem, necessariamente, muita formalização nem grandes abstrações matemáticas. Citando Bachelard, elas afirmam que, ainda hoje, em diferentes áreas da Química, e sobretudo na química escolar, muitos dos modelos utilizados, da linguagem empregada, e até mesmo das técnicas de análise, remontam a épocas onde a sistemática de pesquisa estava vinculada à sistemática da experiência (BACHELARD, 1991). Por exemplo, a “hipótese cinética” é uma hipótese realista do século XIX, que hoje é ainda utilizada para a explicação de muitos sistemas químicos. A hipótese cinética remete à noção de “força química” e implica reconhecer as moléculas como entidades discretas, suscetíveis de movimento, de colisões, ou seja, de comportamento individual. Isto acontece porque, na Química, além dos signos matemáticos e linguísticos, a modelação e a interpretação submicroscópica de fenômenos observáveis está muito ligada à representação pictórica, o que não ocorre na Física, por exemplo. Estas representações pictóricas, convertidas no sistema de signos, fundamental para a modelagem, se constituem em modelos analógicos usados para explicar conceitos abstratos. O amplo uso deste modelo no campo da cinética é devido a cada substância (ou grupo de substâncias) ter uma cinética própria relativa às diferenças de comportamentos relacionadas com a composição-estrutura, temperatura, pressão, concentração – ou seja, uma situação complexa à qual os modelos devem responder. Estes modelos de situações complexas e dinâmicas, que envolvem sucessão de mudanças e mecanismos intermediários, permitem alcançar êxitos parciais na generalização matemática para algumas classes de substâncias. Nos dizeres de Greca e Santos (2005, p. 5):

[...] a descrição normativa, metodológica, claramente crítica e legítima de um racionalismo químico que avançou e se estabeleceu em várias áreas, não conseguiu, contudo, construir um corpo teórico consistente e amplo o suficiente para unificar o pluralismo molecular (discursivo, funcional e representacional), embora estes mesmos modelos tenham progredido, conceitual e representacionalmente, a partir da “matematização” dos mesmos, como no caso dos estados de transição na cinética das reações.

Entretanto, em salas de aula, devido à complexidade da Química como ciência, o processo de modelar pode assumir diferentes aspectos, alguns deles estreitamente atrelados ao fenômeno, como é o caso da teoria cinética. Neste modelo, segundo Greca e Santos (2005), as entidades (átomos, moléculas, íons) são tomadas como entidades reais, sendo seus comportamentos considerados similares ao comportamento dos objetos materiais macroscópicos. Du-

rante praticamente todo o Ensino Médio, esse tipo de modelagem é utilizado, focado muito mais em representações tipicamente pictóricas que matemáticas, dentro da Química, e daí talvez a dificuldade dos alunos para estabelecerem a relação entre a visão micro e macroscópica dos fenômenos. Lima et al. (2000), em outro trabalho, procuraram estabelecer relações entre o baixo aproveitamento no aprendizado de cinética e a não-contextualização da química. Essas autoras consideram que, especificamente no ensino de cinética, na maioria das vezes baseada em aulas expositivas, não se levam em conta nem os conhecimentos prévios nem o cotidiano dos alunos. Em sua pesquisa observaram como a contextualização (por meio de experimentos simples, ligados ao cotidiano do estudante) contribuiu para a melhoria do aprendizado dos conceitos relacionados à velocidade de reação, da teoria das colisões e dos fatores que influem na velocidade das reações químicas.

Schnetzler e Rosa (1998), em sua pesquisa sobre concepções dos alunos acerca das transformações químicas, apontam para determinados obstáculos, como as concepções prévias, no que diz respeito à interpretação submicroscópica das reações químicas. Segundo essas pesquisadoras, poucos estudantes de Ensino Médio empregam os conceitos de átomos e moléculas em seus raciocínios sobre reação e cinética química. Muitos concebem o nível atômico-molecular como se fosse uma extrapolação do nível fenomenológico, ou seja, não conseguem diferenciar as propriedades micro e macroscópica empregando um mesmo modelo ou teoria. Particularmente no caso da teoria das colisões, não conseguem identificar o comportamento das substâncias durante a transformação **reagente → produto**. Para essas autoras, esses estudantes apresentam enormes dificuldades em transitar do fenomenológico para o macroscópico (alguns alunos chegam a citar, nas entrevistas, o fato de existirem moléculas “quentes”, mais suscetíveis de sofrerem colisão, e moléculas mais “frias”, que dificilmente colidem).

Mortimer (1995), num de seus trabalhos, sobre o que pensam os estudantes acerca das reações químicas, aponta a dificuldade que os mesmo têm em ultrapassar os aspectos perceptivos dos fenômenos investigados. Isso faz com que, muitas vezes, eles não reconheçam o papel de reagentes e produtos não tão sensorialmente perceptíveis, como, por exemplo, as reações que envolvem gases. Segundo esse autor, no ensino de química no nível médio, há uma certa tendência dos professores em relegar a segundo plano o estudo microscópico do fenômeno, priorizando-se a representação do mesmo (por meio de fórmulas, equações e gráficos). Quando objetivamente se busca essa modelagem microscópica, os estudantes tendem a rejeitá-la em função da pouca ou nenhuma associação com as representações (equações) até então mostradas a eles. Essa ênfase nas representações em detrimento dos fenômenos pode fazer com que o aluno mantenha as concepções perceptivas e não relacione as transformações que ocorrem em nível fenomenológico com as explicações no nível atômico-molecular (MORTIMER, 1995, p. 24). Para este autor, antes de se representarem as reações químicas por meio de equações (na primeira série do Ensino Médio), é importante discutir algumas características desse tipo de transformação, como o fato de que elas envolvem trocas de energias, colisões microscópicas em nível atômico-molecular, e dependem de fatores como: temperatura, estado físico, superfície de contato e concentração dos reagentes, entre outros.

Essa discussão deve ser bem introdutória, pois esses temas são mais bem detalhados quando se estuda cinética química (na segunda série). A vantagem de se utilizar esse tipo de abordagem, ainda segundo Mortimer, é que só se passa a representar as reações por equações depois que se tem uma boa compreensão dos fenômenos envolvidos nas transformações qui-

mic. Nesse sentido, as equações passam a simbolizar algo que os estudantes identificam como mais complexo, que ocorre num nível submicroscópico, com toda uma abordagem à qual, aos poucos, eles vão tendo acesso, como a teoria das colisões, só para citar um exemplo. Sabadini e Bianchi (2007), em seu trabalho sobre o ensino de cinética e equilíbrio químico, propõem que se priorize uma abordagem termodinâmica e seus aspectos probabilísticos, pois a maioria dos livros-texto de química utilizados no Ensino Médio traz o conceito de equilíbrio químico sob o ponto de vista da cinética química, deixando de lado o fato de que as reações químicas são regidas pelas leis universais que descrevem as transformações da natureza. Para esses autores, considerando-se a questão da estabilidade dos sistemas químicos, deve-se observar a conveniência de se utilizarem conceitos como “*entropia*” e “*energia livre de Gibbs*”. A definição de entropia é relativamente complexa e, a rigor, surge naturalmente da termodinâmica estatística.

A Segunda Lei da termodinâmica propõe a existência da função “*entropia*”, que permite determinar o sentido das transformações e o seu ponto de equilíbrio. Sua origem estatística está relacionada com a existência de estados (situações) mais prováveis, ou seja, quanto maior for o número de estados possíveis que um determinado sistema possa assumir, então, maior será sua entropia. Afirmam então, que um tratamento alternativo ao ensino tradicional de equilíbrio e cinética poderia ocorrer em função da variação da *energia livre* (ΔG) de um sistema que, por sua vez, depende do balanço entrópico-entálpico. Segundo os autores, os ganhos com essa abordagem seriam vários, como os que seguem:

1) o conceito de equilíbrio químico e sua cinética peculiar seriam apresentados de forma precisa. A inserção das reações químicas nas transformações gerais da natureza evitaria a desnecessária fragmentação de conceitos.

2) permitiria ao aluno do Ensino Médio, dentro dessa visão, compreender situações que são tratadas no Ensino Superior e que requerem uma clara distinção entre fenômenos cinéticos e termodinâmicos.

3) tornaria mais completa e eficiente a abordagem dos conceitos envolvidos, pois *espontaneidade de reação*, *extensão de reação*, *entropia* e *energia livre* são tratados normalmente de maneira distorcida e superficial, no Ensino Médio.

Há, portanto, como demonstram essas pesquisas, uma vasta gama de dificuldades/obstáculos, tanto no que diz respeito ao *ensino*, como no que se refere à *aprendizagem* dos conceitos ligados ao conteúdo de cinética química, particularmente, da Teoria das Colisões, no Ensino Médio. A partir da leitura e do contato com essas pesquisas, buscamos os referenciais que nos auxiliaram a estabelecer o vínculo teórico necessário à interpretação do fenômeno químico escolhido.

Os referenciais teóricos e a formação do pensamento probabilístico

A escolha de referenciais teóricos que nos auxiliassem a identificar falhas ou lacunas, ou ainda, as concepções alternativas em alunos do Ensino Médio submetidos à aprendizagem formal, numa aula de química tradicional, foi um processo árduo de estágios distintos. Pesquisando na literatura, constatamos que a obra de Jean Piaget e Bärbel Inhelder, “*The origin of the idea of chance in children*”, publicada nos anos 1950 (com o título original, em francês, “*La genèse*

de l'idée de hasard chez l'enfant”), havia sido uma das primeiras a investigar a gênese das idéias de acaso e probabilidades em crianças e jovens. Outros pesquisadores, todos em língua inglesa, também realizaram trabalhos sobre as mais diversas facetas e os mais variados aspectos do aprendizado, das percepções, dos obstáculos epistemológicos e das “*misconceptions*”⁵ acerca da Teoria das Probabilidades em crianças, jovens e adolescentes (veja, por exemplo, WAY, 2003; PAPISTODEMOU, NOSS, PRATT, 2002; KUZMAK, GELMAN, 1986; GREEN, 1978; HOEMANN, ROSS, 1971; DAVIES, 1966; GOLDBERG, 1966; ROSS, 1966; LEAKE, 1965; YOST, SIEGEL, ANDREWS, 1962). Também encontramos uma pesquisa muito interessante e que nos foi extremamente inspiradora, sobre as dificuldades de aprendizagem e aplicação da teoria das probabilidades em jovens de 17 a vinte anos, elaborada em Nanyang na China, na forma de tese de doutoramento (JUN, 2000). E, por fim, recorremos ao trabalho de Fischbein (1975), que investigou as fontes intuitivas do pensamento probabilístico em crianças e jovens. De acordo com Piaget e Inhelder (1975), as idéias de acaso e probabilidade, no decurso do desenvolvimento cognitivo da criança, se colocam em estreita relação com as operações formais. Assim, podem ser relacionados os seguintes estados de desenvolvimento cognitivo com o pensamento probabilístico:

- *pré-operatório* (2-4 a sete anos de idade, aproximadamente): a criança não assimila os objetos (ou eventos) ainda, de tal forma que possa comparar a chance de ocorrência dos diversos eventos aleatórios. Elas não possuem, ainda, nenhuma medida intuitiva de probabilidade.

- *das operações concretas* (sete a 11 anos de idade, aproximadamente): a criança já tem capacidade para estabelecer certos tipos de comparações entre as probabilidades recíprocas de eventos. Existe a diferenciação entre as operações (associadas ao domínio do que é dedutível) e o acaso (associado ao domínio do que é imprevisível).

- *das operações lógico-formais* (11 a 12 anos de idade em diante): já existe, na criança, uma assimilação do acaso às operações formais e aparece o julgamento de probabilidade e a construção dos sistemas de análise combinatória, permitindo determinar o conjunto de casos possíveis e o acesso ao raciocínio proporcional. O que Piaget chama de “*operações formais*” pretende indicar que alunos dessa faixa de desenvolvimento não pensam apenas operatorialmente, mas avançam em direção a raciocínios formais e abstratos e, sendo assim, já é possível o ensino de probabilidade (que necessita de pensamento abstrato e lógico e cuja forma de raciocínio em etapas anteriores não permite elaborar). Piaget e Inhelder (1975) assinalam, também, que a partir do estágio das operações formais, conclusões dedutivas podem ser formuladas baseadas em determinadas premissas, que necessitam de comprovação mediante experiências ou experimentos adequados.

Metodologia empregada

A seguir apresentamos o desenho experimental utilizado na coleta dos dados e discutimos, também, as características dos testes e entrevistas aplicados, além da motivação de suas

⁵ *Misconceptions* ou concepções alternativas, concepções prévias ou ainda concepções errôneas.

escolhas, baseadas no trabalho de Piaget e Inhelder (1975). Escolhemos, como sujeitos de nossa pesquisa, estudantes entre 16 e 19 anos, alunos da terceira série do Ensino Médio de uma escola particular da cidade de Marília (SP). A turma era composta por 26 alunos e os 15 escolhidos (dez rapazes e cinco moças) foram os de melhor desempenho escolar, com base no aproveitamento e na participação dos mesmos até o terceiro bimestre. Essa turma tinha dois professores de química, que dividiam em frentes diferentes o conteúdo programático, num total de cinco aulas de química por semana. Com a permissão de ambos, realizamos toda a pesquisa, as entrevistas e as avaliações com os estudantes fora do horário normal de aulas, ou seja, no período da tarde. A direção da escola e a coordenação pedagógica também foram muito receptivas e nos deixaram à vontade para a elaboração do trabalho. Nossa pesquisa foi essencialmente qualitativa, ou seja, segundo Bogdan e Biklen (1994), aquela que privilegia objetivamente a compreensão dos comportamentos a partir da perspectiva dos sujeitos da investigação. Os dados são recolhidos normalmente em função de um contato mais aprofundado com os indivíduos, nos seus contextos ecológicos naturais (BOGDAN, BIKLEN, 1994, p. 16). Segundo estes autores as estratégias mais utilizadas e mais representativas na investigação qualitativa são a “*observação participante*” e a “*entrevista em profundidade*”. Optamos pela última por ser a que mais se adequava aos nossos interesses e porque poderíamos variar as técnicas de entrevista conforme as necessidades fossem surgindo durante todo o processo, que durou do início de setembro até o final do mês de novembro de 2006.

As entrevistas e testes foram aplicados individualmente e fora da sala de aula. Conforme ainda Bogdan e Biklen (1994) assinalam, a pesquisa qualitativa é “*descritiva*”, isto é, os dados recolhidos são em forma de palavras ou imagens, e não de números. As entrevistas que aplicamos foram gravadas em áudio digital e os testes cobravam dos alunos desenhos e respostas objetivas (continham a maioria das questões abertas e algumas em que o aluno deveria apontar uma ou mais possibilidades de resposta, ou seja, foram entrevistas do tipo *semiestruturada*). A nossa proposta foi, de início, investigar o nível de compreensão e utilização da teoria das probabilidades por parte dos alunos. Pelo fato de estarem cursando a série terminal do Ensino Médio, já deveriam ter tido contato com este conteúdo (pelo menos é o que determinam as grades curriculares de matemática). Por estarem numa faixa etária entre 16 e 19 anos, de acordo com a literatura, deveriam apresentar os esquemas cognitivos que os tornassem aptos a raciocínios formais e abstratos no sentido de utilizarem e compreenderem as noções de acaso e probabilidade. Com base no trabalho de Piaget e Inhelder (1975), escolhemos três tarefas (testes) aplicadas na forma de entrevistas clínicas (o mesmo método utilizado pelos autores) para avaliar o nível de raciocínio cognitivo acerca dos elementos da teoria das probabilidades.

Os pré-testes

. *Primeiro teste/entrevista*: consistiu em avaliar o conceito de mistura aleatória, ou brassagem⁶. Num dos seus primeiros estudos sobre a intuição do acaso, Piaget e Inhelder investi-

⁶ Piaget e Inhelder utilizam o termo “brassagem” para designar mistura, ou o movimento na qual a mistura é produzida.

garam-na dentro da realidade física, ou seja, a gênese da noção de *mistura* e de *irreversibilidade*. A idéia de mistura, crescente e irreversível, é o ponto de partida da intuição do acaso, segundo estes autores. Eles consideram o acaso físico como a interferência de sucessões causais independentes:

Quando um golpe de vento bate uma porta, ferindo uma criança, ela terá dificuldade em entender que nem o vento e nem a porta tiveram a intenção de prejudicá-la: ela verá apenas a interferência das causas que a fizeram aproximar-se da porta e das que a lançaram contra ela, mas não admitirá a independência das duas causas, privando-se assim de considerar o fato como fortuito. (PIAGET, INHELDER, 1975, p. 1)

Assim, segundo estes autores, ou a interferência das causas sem o reconhecimento de sua independência ou sua independência sem a constatação de sua interferência, são, a princípio, o que impede a criança de construir a idéia de acaso. Para investigar essa noção inicial, Piaget e Inhelder propuseram um experimento no qual era apresentada à criança uma caixa retangular, repousando, segundo seu eixo transversal, sobre um dispositivo que a permite oscilar. Parada, a caixa fica inclinada no sentido de um dos seus lados menores e, ao longo desse lado inclinado, encontram-se alinhadas, e em repouso, oito esferas vermelhas e oito esferas brancas.



Foto 1. Experimento que investiga a noção de mistura ou brassagem, adaptado de Piaget e Inhelder, 1975.

Essas duas fileiras de esferas estão separadas por uma pequena divisória de madeira, conforme a Foto 1, que mostra uma adaptação dessa montagem. A cada oscilação, as esferas passam para o lado oposto da caixa, voltando, depois, para o lado inicial, mas com uma série de permutações possíveis. Os movimentos sucessivos de oscilação não devem ser bruscos, de forma que a mistura das esferas seja gradual e progressiva: no início, duas ou três esferas

vermelhas se misturarão às brancas e vice-versa, pois a brassagem aumentará pouco a pouco. O problema é, então, determinar se, em presença dessa brassagem, evento bastante visível, a criança representa o produto dela como uma mistura crescente e irreversível de elementos brassados, ou se, apesar da desordem aparente, ela imagina os objetos misturados como ainda ligados por algum tipo de “*laço oculto*”. Assim, os autores elaboram, durante o experimento, uma sequência de perguntas, como numa entrevista clínica, bastante comum na obra de Piaget. Após a primeira brassagem (movimento pendular, na qual a caixa oscila na direção oposta àquela em que estão as esferas em repouso, apoiada no seu eixo fixo ou pivô), pergunta-se: 1) Em que ordem as esferas voltarão? 2) Ficarão as esferas de mesma cor de um mesmo lado ou elas irão se misturar? 3) Faça a previsão do resultado após cada movimento de brassagem. 4) Faça uma previsão da possibilidade do retorno de todas as esferas de mesma cor para um mesmo lado. 5) Faça uma previsão da possibilidade do retorno de todas as esferas de mesma cor para seu lado de origem.

Adaptamos esse experimento, tentando ser fiel ao original, construindo uma caixa de madeira retangular, pintada na cor branca para facilitar as visualizações, e utilizamos seis bolinhas de gude azuis⁷ e seis brancas (Foto 1) como as esferas de Piaget. Para cada aluno entrevistado, repetíamos a situação inicial, onde as seis bolinhas de cada cor ocupavam um mesmo lado da divisória. Com o gravador digital ligado, procedíamos às perguntas a cada movimento pendular de oscilação da caixa, retornando, em seguida, ao ponto de repouso em relação ao eixo (brassagem). A análise de todo o processo irá se basear nas transcrições das entrevistas gravadas. Privilegiamos as respostas que se relacionavam com os objetivos da nossa investigação, desprezando as falas que apenas se referiam a comentários ou a indagações não pertinentes. Introduzimos uma variante no teste de mistura casual. Num primeiro momento, no início do teste, utilizamos quatro bolinhas de gude brancas e quatro azuis. Após um certo número de movimentos de oscilação, variando de duas a quatro brassagens, aumentamos a quantidade de bolinhas para seis de cada cor. Percebemos que ao proceder desse modo, a noção de mistura era melhor percebida pelos alunos, pois o número de bolinhas de cores diferentes que se alternavam (misturavam) nos dois lados do separador da caixa variava mais depressa (com menos brassagens). A seguir, mostramos a transcrição de duas das entrevistas com estudantes participantes da pesquisa. Nos trechos abaixo, **P** é o pesquisador, as três letras maiúsculas são as iniciais do nome do aluno (entre parênteses a sua idade), e **MO** representa o movimento de oscilação da caixa (brassagem). As reticências indicam pausas nas falas, e o que está colocado entre parênteses ou entre colchetes introduz comentários nossos:

I) Entrevista com AMA (17):

Situação inicial – quatro bolinhas azuis e quatro brancas em cada lado da divisória da caixa.

P: *você acha que haverá mistura entre as bolinhas, ou as bolinhas voltarão para seus lugares originais após o movimento da caixa?*

AMA: *sim, elas irão se misturar...*

⁷ No texto original de Piaget e Inhelder (1975), é utilizada a palavra “marble”, cuja tradução para o português seria bilha (em Portugal), bola de gude ou búrica (no Brasil).

P: *faça uma previsão (estimativa) de quantas bolinhas e que cores ficarão de cada lado do separador.*

AMA: *acho que vão ficar... ah... não sei, talvez três azuis e uma branca do lado esquerdo e... uma azul e três brancas do lado direito.*

MO: _____

P: *... misturou?*

AMA: *misturou...[aparentemente parece surpresa]*

P: *como é que ficou, dá uma olhadinha...*

AMA: *ficou quatro brancas e uma azul do lado esquerdo... e... lá (direito)... três azuis.*

P: *você percebeu que daquele lado não teve (sic) mistura, né?*

AMA: *é... deve estar penso este negócio (aponta pra caixa)...*

P: *não... não está penso, é que se trata de lançamento, a caixa está OK...*

AMA: *tá...*

P: *vou lançar de novo, quer fazer uma nova previsão?*

AMA: *tá bom....*

P: *você acha que dessa vez haverá mistura completa dos dois lados da caixa, a partir dessa situação que está aí?*

AMA: *não sei... acho que vai ficar... duas azuis e três brancas (apontando pro lado esquerdo do separador)... e duas azuis e uma branca.*

MO: _____

AMA: *... ah eu não acertei... olha, ficou uma azul e duas brancas ... e do outro (lado direito) três azuis e duas brancas.*

P: *calma... a idéia não é que você tenha que acertar... mas você percebeu que houve misturas, né?...dos dois lados do separador.*

AMA: *tá bom... [desapontada]*

P: *vou fazer outro lançamento, mas vou aumentar a quantidade de bolinhas, tá certo?...vou usar seis bolinhas de cada cor.*

AMA: *vai aumentar?*

P: *é... volta as bolinhas pra posição inicial.*

AMA: *... tudo bem...*

P: *... a pergunta é a seguinte, agora com seis bolas (de cada cor)... você acha que o fato de eu ter colocado mais bolas, aumenta a chance de haver mistura, ou não tem nada a ver (sic)?*

AMA: *aumenta...*

P: *... aumenta?*

AMA: *tem mais chance. [ri da própria conclusão]*

P: *você acha que vai ter mistura logo de cara (sic) nos dois lados?*

AMA: *... não ... só em um deles ...*

P: *... faz então uma previsão ...*

AMA: *vão ficar quatro brancas e zero azuis... e do outro lado (direito) seis brancas e duas azuis.*

MO: _____

AMA: *... nossa*

P: *fala pra mim, como é que ficou?*

AMA: *ficou três brancas e seis azuis... e do outro (direito)... três brancas e zero azuis.*

P: *foram quase todas pro mesmo lado?*

AMA: *... foi [surpresa]*

P: *houve mistura só de um lado do separador...*

AMA: *é... gozado, né...*

P: *vou fazer outro lançamento... faça mais uma previsão.*

AMA: *tá... então agora vão ficar... aqui (lado esquerdo), vão ficar três azuis e duas brancas e...(do outro lado)... três azuis e quatro brancas.*

MO: _____

P: *o que deu?*

AMA: duas azuis e três brancas... e (do lado esquerdo) quatro azuis e três brancas... ué... inverteu o lançamento?

P: você acha, que conforme eu continue a efetuar os lançamentos... existe a chance de voltarem as bolinhas para suas posições originais ... quer dizer... as seis brancas e as seis azuis pros lados onde estavam?

AMA: ... ah... existe [meio hesitante]

P: ... e é pequena ou grande essa chance?... eu tenho que fazer poucos lançamentos ou muitos lançamentos para que isso ocorra?

AMA: ah... médios...

P: médios significa quantos?

AMA: uns quatro lançamentos...

P: e as seis bolinhas de cada cor voltarem para os lados opostos ao que estavam inicialmente, ou seja haver inversão?

AMA: ah... muito difícil...

P: difícil?... quantos lançamentos seriam necessários, então?

AMA: ... uns vinte.

P: tá OK... vamos então pra mais uma previsão.

AMA: ... a partir dessa posição?

P: sim...

AMA: então agora vão ficar... duas azuis e cinco brancas (lado esquerdo)... e do outro quatro azuis e uma branca.

MO: _____

P: como ficou?

AMA: ... ficaram três brancas e três azuis... do outro lado também (direito)... nossa! [novamente, parece surpresa]

P: ... você percebeu o que ocorreu?...

AMA: ... é... ficou três de cada cor... de cada lado... [sorrindo bastante]

P:... você viu?... as bolinhas ficaram intercaladas... três brancas... três azuis, e do outro lado... três brancas e três azuis...

AMA: ... é mesmo ... que legal.

P: ...OK, tá jóia ... muito bom, obrigado a agora vamos a outro teste, tá?

AMA: ... tá bom.

II) Entrevista com THI (16):

Situação inicial – quatro bolinhas azuis e quatro brancas em cada lado da divisória da caixa.

P: ... bom, eu vou fazer a caixa oscilar, e as bolinhas vão sair dos compartimentos, elas vão até a outra extremidade. Quando elas voltarem, o que você acha que vai acontecer? Vão voltar pra suas posições originais ou vai haver mistura?

THI: ... sim vai haver mistura.

P: em que proporção?... faça uma previsão pra cada lado da caixa.

THI: ... eu acho que vai ficar uma azul e três brancas (lado esquerdo), e três azuis e uma branca... (do outro)

MO: _____

P: quanto ficou do lado aí (esquerdo)?

THI: ...uma azul e quatro brancas, e do outro três azuis e zero brancas.

P: você quase acertou a previsão!...você percebeu que um dos lados não teve (sic) mistura? Ficaram só as azuis... será que no próximo lançamento vão se misturar?

THI: ... sim ... acho que sim ...

P: faça uma nova previsão ... a partir dessa situação

THI: ... uma azul e quatro brancas desse lado (esquerdo) e...três azuis e zero brancas do outro.

MO: _____

P: *continuou não havendo mistura, né ... como ficou?*

THI: ... a mesma coisa do anterior ... ué, não houve mudança ...uma azul e quatro brancas (esquerdo) e três azuis e zero brancas (outro lado).

P: ... será que não houve mudança ou aconteceu do mesmo número de bolinhas de cada cor se acomodarem? Será que não são as mesmas bolinhas da situação anterior?

THI: ... não sei ... não deu pra ver direito ... não prestei atenção ...

P: *vamos aumentar pra seis bolinhas de cada cor agora?*

THI: *tudo bem ...*

P: *vamos ordenar de novo ... você acha que agora aumenta a chance de mistura ou tanto faz a quantidade delas?*

THI: *aumenta!* [com ênfase]

P: *faça uma estimativa ...*

THI: ... quatro brancas e duas azuis (lado esquerdo) e... duas brancas e quatro azuis (do outro)

MO: _____

P: *não houve mudança?...*

THI: ... não ... elas voltaram para seus lugares sem mudar ... nossa! [mostra-se surpreso]

P: *vamos lançá-las de novo? Você mantém a previsão ou muda?*

THI: *mantenho ...*

MO: _____

P: ... *houve mistura, né?... como ficou?*

THI: *não misturou desse lado (esquerdo)*

P: *houve mistura, mas não dos dois lados ... né?*

THI: ... *é ... ficou (sic) cinco brancas e zero azuis (E) e uma branca e seis azuis (D).*

P: *faça mais uma previsão...*

THI: ... *quatro brancas e uma azul (E)... e duas brancas e cinco azuis (D)...*

MO: _____

P: *olha ... que coisa!*

THI: *voltaram as seis brancas pra sua posição original ... e as seis azuis também ... voltou tudo igual no começo!* [bastante surpreso]

P: *ainda não havia acontecido*

THI: *é ... legal*

P: *vai aumentar a mistura?... qual sua previsão?*

THI: ... *duas brancas e duas azuis (E) e quatro brancas e quatro azuis (D).*

MO: _____

P: ... *aumentou?*

THI: ... *ficou cinco brancas e três azuis (E) e uma branca e três azuis (D)...* *mudou, né?*
Mas não acho que aumentou ...

P: ... *tá ... legal, obrigado pela colaboração.*

De um modo geral, a maioria dos estudantes entrevistados mostrou domínio da noção de mistura, pelo menos em relação à idéia de probabilidade de “*baver*” mistura. Ficou bem marcante também a presença de esquemas mentais que dão conta de organizar as previsões e as estimativas sobre se as bolinhas “*deveriam se misturar*” ou não à medida que mais lançamentos eram feitos. E, também, que a mistura deveria “*aumentar*” cada vez mais com o aumento da quantidade de brassagens. Embora alguns tenham se confundido em relação aos números estimados na previsão, como THI (17), que previu que a mistura iria aumentar num determinado lançamento mas “cantou” números que indicavam o oposto, a maioria se saiu bem. Outra

interpretação que vale a pena destacar foi a de que todas as bolas poderiam retornar aos seus lados de origem. Alguns estudantes citaram que isso poderia ocorrer com apenas quatro (conforme AMA), dez ou até vinte lançamentos. Na realidade, esse valor é bem maior⁸, mas, de qualquer forma, esse tipo de resposta pode encontrar justificativa em Piaget e Inhelder (1975), que apresentam uma hipótese para explicá-la (veja as considerações finais deste trabalho).

. *Segundo teste/entrevista*: consistiu em verificar a noção de distribuição uniforme. A esse respeito, segundo Piaget e Inhelder (1975), nada mais representativo que a forma de divisão apresentada por gotas de chuvas ao caírem casualmente no início de um aguaceiro. Suponhamos uma superfície repartida em quatro lajes iguais, numa área retangular, como, por exemplo, o quintal de uma casa. Todas as quatro lajes desse quintal têm as mesmas dimensões (são iguais entre si), e as primeiras gotas de chuva ficam esparsas e ainda isoladas. Apenas certas lajes receberão gotas, ao passo que outras nada receberão (o que constitui uma imagem física familiar do acaso). Contudo, à medida que a chuva continua, a(s) laje(s) poupada(s) no início vai(vão) receber gotas da chuva até ocorrer uma distribuição regular de gotas. Segundo Piaget e Inhelder, essa divisão regular constitui um fato de observação habitual para crianças de qualquer idade (PIAGET, INHELDER, 1971). Os autores, então, propõem o seguinte experimento: uma folha de papel branco, repartida em quadrados de dois a três cm², simula um lajeamento regular, e algumas pequenas esferas de pouca mobilidade (feitas de feltro, por exemplo), lançadas através de uma grade que é sacudida, representando as gotas de chuva. Então, se pede à criança que faça previsão de onde as gotas (esferas) irão cair, se todas as lajes serão pouco a pouco tocadas, e como se efetuará a distribuição com o aumento da quantidade de gotas.

De acordo com Piaget e Inhelder (1975), em qualquer idade acima dos seis-sete anos, a criança sabe muito bem que, ao cair a chuva, haverá gotas em toda parte, mas o “toda parte” não implica, para os menores (abaixo dos seis-quatro anos), uma distribuição ao mesmo tempo casual e cada vez mais regular: a dispersão começa por ser regular sem ser fortuita, ou casual sem ser regular, e só nos estágios correspondentes aos sete-dez e dez-12 anos é que se opera a síntese da uniformidade e do acaso, graças à compreensão gradual do que Piaget e Inhelder chamam de “lei dos grandes números”. Adaptamos esse experimento, aplicando-o aos alunos participantes da pesquisa. Pedimos a cada um deles que desenhasse, numa folha de papel previamente dividida em quatro partes iguais (com um risco em cada sentido), onde eles achavam que iriam cair as vinte primeiras gotas de chuva, supondo que aquela área retangular, dividida em quatro partes, fosse um quintal de uma casa sob um início de aguaceiro. As gotas de chuva deveriam ser representadas por bolinhas ou esferas pequenas, e a chuva deveria atingir toda a superfície do quintal.

. *Terceiro teste/entrevista*: neste teste buscou-se verificar se os estudantes apresentavam a noção de permutação aleatória. Segundo Piaget e Inhelder (1975), é perfeitamente possível investigar, na criança, a presença ou não de sistemas que encontrem o número de permutações

⁸ Para dez bolinhas azuis e dez bolinhas brancas, o número médio de lançamentos é de 184.756, segundo Piaget e Inhelder (1975, p. 25), para que todas elas retornem às suas posições originais.

possíveis para pequena quantidade de objetos. Este sistema equivale então à descoberta das próprias operações formadoras, em oposição à sua formulação matemática (ou seja, $n!$). Assim, sabendo-se que dois elementos **A** e **B** só dão lugar a duas permutações, **AB** ou **BA**, as crianças acharão que o acréscimo de um terceiro elemento **C** dará lugar a três vezes mais, ou seja, $2 \times 3 = 6$, porque se pode colocar **C** de três maneiras em relação a cada par **AB** e **BA** (**CAB**, **ACB**, **ABC**, **CBA**, **BCA** e **BAC**). Também acharão que o acréscimo de um quarto elemento **D** proporcionará quatro vezes mais permutações, ou seja, $6 \times 4 = 24$, porque podemos colocar **D** de quatro maneiras em relação a cada um dos seis trios. De fato eles acabarão descobrindo a lei matemática: $P_n = 2 \times 3 \times 4 \times 5 \dots \times n$, e mesmo que não consigam quantificar isso numa formulação, pelo menos chegarão a extrair seu mecanismo operatório (PIAGET, INHELDER, 1971). Existe um ponto, de fundamental importância segundo os autores, que trata da diferença entre a mistura casual (brassagem), que foi abordada no primeiro experimento dessa nossa pesquisa, e a permutação, que também é um tipo de mistura, só que intencional.

Para Piaget, é muito provável que a criança comece por aprender as permutações espontâneas observadas entre as coisas e objetos do cotidiano, para só depois efetuar, ela mesma, permutações intencionais. Todavia, ainda segundo Piaget e Inhelder (1975), nos dois casos, as permutações casuais só se tornam inteligíveis em função da compreensão das permutações sistemáticas. Nos parece então, que, longe de se impor pelos fatos observáveis, a idéia de acaso pressupõe uma construção, ou seja, a formação de sistemas operatórios que possam reconhecer e elaborar a existência de fenômenos aleatórios para, depois, elaborar e identificar as quantidades de probabilidade envolvidas. Os autores propõem, em seu trabalho, um experimento para investigar essa percepção de permutação: pede-se à criança que proponha maneiras diferentes de colocar 4, depois 5 pessoas (chamadas de A, B, C, D, E), lado a lado num passeio fictício. Adaptamos essa técnica para utilizarmos em nossa investigação com os alunos sujeitos da pesquisa. Pedimos para cada um deles colocar, em todas as ordenações possíveis, cartas de papelão onde estavam marcadas, em tamanho grande, as letras **A**, **B**, **C**, **D**, **E** e **F**. Iniciamos com as cartas **A** e **B**, depois passamos para **A**, **B** e **C**, e assim sucessivamente, até que todas as seis cartas participassem.

A entrevista final: os alunos identificam aspectos probabilísticos na “Teoria das Colisões”?

O tempo decorrido entre a aplicação dos pré-testes e a última entrevista foi de, aproximadamente, um mês. Esse intervalo se deveu às provas finais do quarto bimestre letivo, com as quais os alunos estavam envolvidos. Novamente durante o período da tarde, fora do horário normal de aulas, convocamos todos, na mesma ordem em que haviam sido entrevistados nos pré-testes. Dessa vez, antes da entrevista, aplicamos um questionário para investigar os conceitos relacionados à Teoria Cinética. Encerrado o questionário, os alunos foram então entrevistados, com o gravador digital de áudio registrando novamente suas intervenções e falas.

Agora, o alvo era a correlação entre a Teoria das Colisões, no modelo cinético de partículas que representa uma reação química, e aspectos da Teoria das Probabilidades relacionados a esse conteúdo específico. Queríamos investigar se os alunos estabeleciam alguma

correlação ou não, se utilizavam, ou não, elementos probabilísticos na interpretação/conceitualização do modelo cinético. Para tanto, preparamos um experimento, inspirado mais uma vez no trabalho de Piaget e Inhelder (1975), no qual, utilizando bolinhas de gude azuis e vermelhas contidas num saco fechado e escuro, pedíamos às crianças que as extraíssem ao acaso e calculassem as chances de se obterem duas bolinhas seguidas de mesma cor (para investigar as operações formais de probabilidade quantitativa).

Ao adaptarmos esse experimento, nosso objetivo foi o de simular uma reação química bimolecular, elementar⁹, supondo condições ideais. Usando bolinhas de isopor, pintadas na cor preta e na cor vermelha, representando as moléculas dos reagentes, nossa proposta foi a de simular colisões, num nível de representação macroscópico para tentar identificar de que maneira os estudantes elaboram mentalmente o modelo submicroscópico. Colocamos 50 bolinhas *pretas* e 50 bolinhas *vermelhas* no interior de um recipiente na forma de bolsa, totalmente fechado e na cor preta. Pedimos aos alunos que fizessem uma “tentativa”. Cada “tentativa” significava retirar do recipiente duas bolinhas em sequência. Se fossem duas bolinhas da mesma cor, considerava-se que não havia ocorrido choque efetivo e, portanto, não havia ocorrido reação (duas moléculas do mesmo reagente colidindo). As duas bolinhas retornavam ao saco. Caso as bolinhas retiradas em sequência fossem de cores diferentes (uma preta e outra vermelha, ou vice-versa), o choque era considerado efetivo e, portanto, tinha se formado o produto (colisão entre moléculas de reagentes diferentes). As duas bolinhas eram, então, retiradas do recipiente e outra, de cor *branca*, era colocada no saco, representando o produto formado.

A Foto 2 mostra a montagem do experimento:



Foto 2. Experimento que simula uma reação química bimolecular, inspirado em Piaget e Inhelder (1975).

⁹ Reação elementar ou aquela que necessita de uma única colisão, ou uma única etapa, para formar seu complexo de ativação (MASTERTON, SLOWINSKI, STANITSKI, 1990).

Estávamos considerando, nessa simulação, que as partículas (bolinhas) estavam na temperatura em que alcançam a energia de ativação para reagiram e que a geometria de colisão era sempre a ideal. Após cada tentativa (cada aluno efetuou, em média, de 15 a 20) foram feitas as seguintes perguntas: **1) Você acha que a probabilidade de colisão efetiva aumentou, diminuiu ou não se alterou? Por quê?** **2) Faça uma previsão para a próxima tentativa (colisão efetiva ou não, e com qual chance).**

A seguir, mostramos duas das transcrições das entrevistas do Pós-teste, sobre esse experimento. Nas transcrições, a sigla **TT** identifica cada tentativa efetuada pelo aluno.

1) Entrevista com ISA (17):

P:...podemos começar?

ISA: ... tudo bem ... tô pronta [parece ansiosa]

P: a gente vai simular uma reação, tá? As bolinhas pretas e vermelhas representam as moléculas, quer dizer, os reagentes diferentes... você vai tirar, do saco que representa o reator, duas bolinhas em seguida... pra colisão ser efetiva, você tem que tirar bolinhas de cores diferentes... certo ? ... elas já têm a energia necessária e a geometria ideal de colisão... entendeu?

ISA:... só quando sair duas de cor diferente?

P: ... é ... nesse caso a colisão é efetiva e ocorre reação...a gente tira as duas bolinhas e coloca uma de cor branca, no saco, representando o produto formado, entendeu?

ISA: ... entendi.

P: ... antes de a gente iniciar... a primeira tentativa, você poderia calcular pra mim...é...a chance de haver colisão efetiva nessa primeira tentativa ?... lembre-se que existem 50 bolinhas de cada cor ... pretas e vermelhas.

ISA: ... 50% [não justifica a estimativa]

TT: _____

P: ... uma preta ... e uma vermelha... portanto: colisão efetiva... houve reação.

ISA: ... a gente tira essas duas e põe uma branca...

P: ... isso, agora a branca tá representando o produto da reação, certo?

ISA: ... tá!

P: só que agora, a minha pergunta é a seguinte: a partir dessa situação, com produto formado, a chance de haver colisão efetiva aumentou, diminuiu ou não se alterou?

ISA: ... diminui, mesmo que pouco, mas diminuiu... e a colisão com a branca... resulta em reação?

P: ... não ... a branca já não é mais reagente...

ISA: ... tá bom!

P: ... você disse que diminui a chance de haver colisão efetiva... por que você acha isso?

ISA: por causa da branca que entrou... ela vai atrapalhar, acho que cai a chance pra uns 48%...

TT: _____

P: ... saiu ...uma preta e ...uma vermelha, colisão efetiva.

ISA: ... tira as duas ... coloca uma branca.

P: ... isso... agora a mesma pergunta: a chance de haver colisão efetiva?

ISA: ... diminui mais ... porque entrou mais uma branca [fala baixinho: produto]... acho que agora é de 46%...[sem justificar]

TT: _____

P: ... uma vermelha e ...uma preta, nossa ... outra colisão efetiva.

ISA: coloca outra branca ... e tiro as duas...

P: ... exato ... e a chance de colisão efetiva?

ISA: ... diminui ... novamente ... entrou produto ... acho que diminui pra ... [pensa bastante] ... 43% [novamente sem justificar]

P: ... jóia ... vamos pra outra tentativa.

TT: _____

P: ... uma preta e uma preta, humm não tem reação (sic), colisão não efetiva ... as duas bolinhas voltam pro saco, certo?

ISA: ... tá!

P: ... e a chance de haver colisão efetiva?

ISA: ... não alterou, continua 43%...

TT: _____

P: uma bola vermelha ... mais outra vermelha.

ISA: ... não alterou ... mesma probabilidade.

Nota: Depois de 15 tentativas, o número de bolinhas pretas e vermelhas, no interior do saco caiu para 82 (41 de cada cor). Foram nove colisões efetivas, seis não efetivas, e, portanto, nove bolinhas brancas foram colocadas no recipiente. Temos, então, **91** bolinhas de três cores agora.

P: ... bem, antes dessa última estimativa, gostaríamos de saber se você acha que essas colisões efetivas, numa reação qualquer, comum, são como essas que estamos fazendo ... aleatórias...?

ISA: ... não, acho que não ... de verdade elas sempre colidem, né?

P: ... muito bem, com o que resta de bolinhas qual sua última previsão...?

ISA: ... ah... cai pra uns 24%...

P: ... legal ... muito obrigado, tá! Valeu!

2) Entrevista com **CES** (17):

P: ... tudo bem?... vamos simular a reação, usando as bolinhas...tá?

CES: ... tudo bem...

P: a gente vai simular a reação, ok? As bolinhas representam as partículas de reagentes, o saco preto o reator...você vai tirar duas bolinhas em seguida... pra colisão ser efetiva, as bolinhas têm que ser de cores diferentes...ok ? ... elas já têm a energia necessária e a geometria de colisão também... sabemos que temos cinquenta bolinhas de cada cor no reator.

P: ... antes de começar, com a primeira tentativa, você poderia calcular pra mim a chance de haver colisão efetiva nessa primeira vez?

CES: ... na primeira?

P: ... é, na primeira vez!

CES: ... 50 % [responde sem pensar]

TT: _____

P: saiu... humm, uma preta, ...outra preta, não houve reação, porque saíram duas iguais, certo? Voltam as duas pro reator, e então, minha pergunta é: qual a chance de haver colisão efetiva agora?

CES: [demora bastante para responder... segue um bom tempo em silêncio, parece que ainda não entendeu a idéia do teste, pede uma caneta pra fazer cálculos]...50%, ... não mudou porque você voltou as bolinhas pro saco...

TT: _____

P: duas pretas... não houve reação de novo, vou retornar as bolinhas, ok?

CES: ... tá!

Nota: Após a quinta tentativa, **CES** consegue retirar duas bolinhas de cores diferentes, uma preta e outra vermelha.

P: houve colisão efetiva agora... né? vamos retirar as duas e colocar uma branca, representando o produto.

CES: ... beleza (sic)... tá bom!

P: a minha pergunta é a seguinte: a partir dessa situação, com produto formado, a chance de haver colisão efetiva aumentou, diminuiu ou não se alterou?

CES: ... diminui, porque a quantidade de reagentes diminuiu...

P: ... você disse que diminui a chance de haver colisão efetiva... vai pra quanto?... faça uma estimativa!

CES: ... Acho que vai pra uns 48%...

TT: _____

P: ...saiu...uma preta e ...uma vermelha, colisão efetiva.

ISA: ... tira as duas... coloca uma branca, né?

P: ... isso ... agora a mesma pergunta: a chance de haver colisão efetiva?

CES: ... diminui mais ... porque entrou uma branca e diminuiu (sic) os reagentes ... vai pra uns 45%...

TT: _____

P: ... saiu (sic) duas pretas... sem reação então!

CES: isso...

P: ... exato... e a chance de colisão efetiva?

CES: ... fica a mesma... não mudou nada!

TT: _____

P: ...uma preta e uma preta, humm não tem reação (sic), colisão não efetiva ... as duas bolinhas voltam pro saco, certo?

CES: ... tá!

Nota: Depois de 15 tentativas, já saíram 18 bolinhas do reator (nove de cada cor), ou seja, nove colisões efetivas e seis não efetivas. Entraram, no saco, nove bolinhas brancas como produto da reação. Total de bolinhas no saco: 91.

P:... antes de encerrarmos, gostaria de saber se você acha que essas colisões efetivas, numa reação qualquer, são como essas que estamos simulando aqui, ou seja, aleatórias?

CES: ... deve ser, se for assim como aqui... então é difícil!

P: ... muito bem, com o que resta de bolinhas qual sua última previsão...?

CES: ... vai pra uns 31%...

P: ...ok... obrigado.

A relação entre os aspectos probabilísticos e a compreensão da Teoria das Colisões

O que denominamos “*Pós-testes*” foram aqueles que aplicamos aos sujeitos da pesquisa após as tentativas de identificar as estruturas cognitivas e os níveis operatórios que estes apresentavam em relação à idéia de acaso e probabilidade. Como já citado, esses *Pós-testes* consistiram de duas etapas. Na primeira os estudantes investigados responderam a um questionário com questões abertas. Vamos, a partir desse ponto, fazer uma análise dessas respostas, categorizando-as. Para tanto utilizamos a técnica da “*análise textual discursiva*” de Moraes e Galiazzi (2007, 2006, 2003a, 2003b). Essa técnica se apóia na unitarização dos textos, em seguida às transcrições das falas dos alunos e da coleta de respostas, desconstruindo o sentido, para posterior categorização de acordo com suas afinidades (veja, por exemplo, MORAES, GALIAZZI, 2007, 2006, 2003a, 2003b; MORAES, GALIAZZI, RAMOS, 2005). Da nossa leitura, unitarização, desconstrução e agrupamento, respectivamente, emergiram três catego-

rias de respostas em relação ao nível de apropriação e formação de conceitos acerca do tópico “cinética química”, tema do questionário:

I) Na primeira categoria, incluímos aqueles alunos cujas respostas apresentavam lacunas conceituais ou concepções alternativas convivendo e/ou tomando o lugar dos conceitos e modelos cientificamente aceitos. São exemplos inclusos nessa categoria as respostas a seguir:

MAR: ... para que ocorra uma reação é necessário que as moléculas se choquem de maneira inelástica...

THI: ... reação bimolecular é aquela em que ocorre adição completa dos reagentes...

THA: ... colisão efetiva é quando há um choque entre duas partículas e essas partículas se juntam...

DIE: ... a velocidade da reação só depende da quantidade de partículas reagentes...

CES: ... por características elétricas as partículas se combinam durante uma reação buscando o equilíbrio...

IGO: ... colisão efetiva é quando as moléculas se tocam...

BRU: ... colisão efetiva, na minha opinião, é o processo que está acontecendo a todo momento, ou seja, como as substâncias não ficam estáticas, elas acabam colidindo...

RAF: ... colisão efetiva é quando as moléculas batem de frente, para reagir...

II) Na segunda categoria, destacamos as respostas dos alunos que representaram corretamente a idéia acerca do modelo cinético no nível submicroscópico, mas que, de algum modo, ainda não conseguem articular corretamente os conceitos entre si, e mesmo as relações existentes entre eles, atribuindo a propriedades macroscópicas as causas de uma reação química. São exemplos dessa categoria as respostas abaixo:

ISA: ... colisão efetiva é quando temos o estágio final, ou seja quando a substância está formada... após o choque...

LEV: ... colisão bimolecular envolve duas substâncias, com energias e orientações favoráveis...

VIN: ... colisão bimolecular é quando duas moléculas reagem e... podem formar o produto...

III) A terceira categoria incluiu as respostas e esquemas dos alunos que dominam o conteúdo e representam corretamente o modelo cinético aceito cientificamente. Conseguem articular os significados e estabelecem as relações entre os mesmos de maneira adequada, transitando entre os dois níveis de representação. Como os que seguem:

LEA: ... uma colisão efetiva ocorre quando a disposição geométrica e a energia de ativação das moléculas são favoráveis à formação do complexo ativado...

CRI: ... para que ocorra a formação de produtos, a colisão (choque) entre as moléculas dos reagentes deve ser efetiva, ou seja, deve existir entre as moléculas uma geometria apropriada e energia suficiente para que resulte na formação dos produtos...

AMA: ... o que é chamado de colisão efetiva é quando as mesmas resultam em produtos...

ORL: ... colisão efetiva é o que ocorre quando o choque resulta em novo produto, ou seja, é o choque que resulta em algo novo e que depende da geometria e da energia do choque...

A necessidade de outras categorias

Achamos que seria bastante interessante, sob o ponto de vista qualitativo, interligar os resultados dos testes aplicados, e acabamos por elaborar outras categorias de análise. Colocamos esses resultados numa tabela, cujo modelo foi extraído do trabalho de Jun (2000). Essa tabela, mostrada mais adiante, foi construída a partir do cruzamento e da interpretação dos resultados obtidos nos pré e pós-testes (incluindo aí o questionário semiestruturado). Levantamos quatro categorias, com base na unitarização das transcrições das falas e intervenções verbais dos alunos entrevistados.

A primeira categoria, cuja sigla identificamos por **DPN**, é a dos alunos que dominam parcialmente o conceito, a idéia ou a noção do evento ou, ainda, do que ele representa matemática e/ou quimicamente (ou seja, tanto em seu aspecto probabilístico como no aspecto cientificamente aceito), mas não o relacionam com o modelo cinético estudado. É o caso, por exemplo, do estudante que, ao realizar o teste de mistura ou brassagem (pré-teste I), demonstra por suas intervenções, perceber a natureza do evento (probabilístico), mas ao relacioná-lo com o modelo de colisão, o faz de maneira equivocada (respondendo, no questionário, que não sabe interpretar o modelo cinético de colisões).

A segunda categoria, cuja sigla é **DPR**, é a dos alunos que dominam parcialmente os conceitos probabilísticos e, efetivamente, conseguem fazer uso dos mesmos na compreensão do modelo cinético, relacionando-os com sua própria representação de modelo de colisão. Entende-se, por domínio parcial do conceito, nos dois casos, a compreensão clara do(s) evento(s) probabilístico(s), de acordo com suas as funções cognitivas (segundo Piaget e Inhelder), mas com falhas ainda na(s) generalização(ões). Um exemplo disso seria o do aluno que consegue estimar, com boa aproximação, a chance de colisão efetiva no experimento de simulação de colisões, mas não consegue explicar, no questionário aplicado, por que a diminuição da quantidade de reagente influi na velocidade da reação.

A terceira categoria que emergiu de nossa análise, foi a dos estudantes que dominam totalmente o conceito de evento probabilístico e o relacionam com eficiência e correção ao modelo cinético de colisões, e a representamos pela sigla **DTR**. A quarta e última das categorias, identificada pela sigla **ND**, enquadraram os alunos que não dominam, ou não têm, a noção de evento probabilístico bem desenvolvida (e, portanto elaboram estimativas, previsões e interpretações equivocadas ao utilizarem conceitos dessa natureza).

Para cada estudante, quantificamos o total de DTRs, DPNs, DPRs e NDs atribuídos. Caso o aluno tenha obtido, nos testes e na entrevista, pelo menos três vezes a classificação **DTR**, ou dois **DTR** e dois **DPN**, categorizamo-lo como um sujeito que consegue estabelecer, de maneira eficiente e correta, as relações entre as idéias probabilísticas e os conceitos/módelos envolvidos na Teoria Cinética das Colisões (47% dos entrevistados foram incluídos nessa categoria).

Tabela 1. Categorização das respostas dos alunos em relação à vinculação com suas representações para o modelo cinético de colisões.

| Aluno (idade) | Pré-teste (I) | Pré-teste (II) | Pré-teste (III) | Pós-teste (I) | Pós-teste (II) | Relação com a Teoria das Colisões |
|---------------|---------------|----------------|-----------------|---------------|----------------|-----------------------------------|
| MAR(17) | DPN | DPN | DTR | DPR | DTR | SIM |
| THI(16) | DPN | DPN | DTR | ND | ND | NÃO |
| VIN(17) | DPN | DPR | DTR | DPN | DTR | SIM |
| AMA(17) | DPN | DPN | DTR | ND | DPR | NÃO |
| ORL(18) | DPN | DPN | DTR | DPR | DPR | NÃO |
| LEV(17) | DPN | DTR | DTR | DTR | DPR | SIM |
| LEA(19) | DPN | DTR | DPR | DPN | DTR | SIM |
| THA(19) | DPN | DTR | DPR | DPN | DTR | SIM |
| DIE(17) | DPN | DPN | DTR | ND | DTR | SIM |
| CRI(18) | DPN | ND | DTR | DTR | DTR | SIM |
| CES(17) | DPN | DTR | DTR | DTR | DTR | SIM |
| ISA(17) | DPN | ND | DTR | DPN | DPR | NÃO |
| IGO(17) | DPN | ND | DTR | DPN | DTR | NÃO |
| BRU(18) | DPN | DPN | DTR | ND | DPR | NÃO |
| RAF(17) | DPN | ND | DTR | DPN | DPR | NÃO |

Pré-testes:

- (I) Mistura
 (II) Distribuição Progressiva
 (III) Permutação

Pós-testes:

- (I) questionário sobre Cinética Química
 (II) entrevista sobre o modelo de colisão

Categorias:

- DPR** = domínio parcial do conceito, relaciona-o com o modelo cinético
DPN = domínio parcial do conceito, não o relaciona com o modelo cinético
DTR = domínio total do conceito, relaciona-o com o modelo cinético
ND = não domina o conceito ou não tem a noção desenvolvida

Resultados e análise final

Na análise final da última entrevista, na qual utilizamos um modelo macroscópico que simulava uma reação química bimolecular em condições ideais, pudemos testar mais de perto nossas idéias acerca do envolvimento dos estudantes com as noções de probabilidade e acaso. Esse experimento adotou uma abordagem frequentista, ou seja, nossa interpretação acerca do fenômeno investigado evoluiu a partir do cálculo do número de ocorrências de colisões efetivas em relação ao total de colisões, considerando-se ambas (efetivas e não efetivas) como equiprováveis num conjunto finito de repetições (tentativas). Para o conjunto de tentativas estabelecidas para cada estudante investigado, pudemos listar algumas características interessantes em relação ao experimento:

1) os alunos em sua totalidade não perceberam, de início, a semelhança entre os modelos macro (utilizado por nós) e microscópico (ensinado durante as aulas de química). Alguns, como CRI (18), DIE (17), THI (16) e THA (19), no começo do experimento que simulou uma reação química (com as bolinhas vermelhas e pretas representando as moléculas

reagentes), fizeram estimativas de probabilidade (para colisão efetiva) bastante equivocadas, em função da quantidade inicial. Com a evolução da entrevista, foram compreendendo melhor o modelo probabilístico e passaram a interpretar de maneira mais próxima daquilo que é matematicamente correto;

2) na maioria dos testes, após algumas tentativas (que variaram de aluno para aluno), os estudantes se davam conta da dificuldade de ocorrência de colisão efetiva, ou seja, de extraírem, do saco, duas bolinhas de cores diferentes em sequência. Na fase final da entrevista, muitos deles (53%) perceberam que essa dificuldade estava relacionada, sobretudo, ao fato de as colisões efetivas serem aleatórias;

3) a percepção de que o produto formado (bolinhas brancas) está presente no meio reacional e que, efetivamente, seus choques com as partículas reagentes produzem colisões *não-efetivas* aconteceu durante o experimento, e nunca antes dele, ou seja, o modelo microscópico ensinado em sala de aula não contempla este aspecto. Talvez esse fato possa ser melhor explorado num estudo posterior (fica aqui a sugestão) onde se poderia investigar como evolui o conceito de equilíbrio químico a partir dos produtos formados e a cinética da reação inversa;

4) durante a execução do experimento, a maioria (67%) dos sujeitos entrevistados percebeu que não são todas as partículas que entram em colisão efetiva ao mesmo tempo, como ocorre normalmente na interpretação do modelo microscópico abordado em sala de aula (conceito de simultaneidade);

5) na maioria das simulações de reação (80%) com as bolinhas pretas e vermelhas, a primeira colisão efetiva ocorreu somente após algumas tentativas, o que fez com que muitos dos entrevistados se dessem conta de que esse processo de colisão é realmente casual, podendo ser influenciado, então, por fatores externos que podem alterar significativamente as condições de espaço amostral, equiprobabilidade e frequência relativa dos eventos considerados (colisões).

Podemos destacar, além disso, outros aspectos. Sem sombra de dúvida, a execução dos experimentos, os testes aplicados, as entrevistas e os questionamentos levados a cabo durante a pesquisa tornaram possível, dentro de uma abordagem construtivista, o envolvimento dos alunos, colocando-os em estreito contato com as idéias relacionadas ao acaso e probabilidade. Tornou igualmente possível que muitos se apercebessem do modelo cinético de colisões de maneira mais simples e esclarecedora. Porém faz-se necessário, a partir desse ponto, tecer algumas considerações acerca das limitações dos experimentos escolhidos. O caso mais crítico, em nossa opinião, é o experimento envolvendo a retirada aleatória das bolinhas vermelhas e pretas de uma caixa fechada, simulando uma reação química bimolecular num reator isolado. A idéia principal, por trás de sua escolha e aplicação, foi a de que pudéssemos avaliar, com maior clareza, a percepção dos estudantes sobre a aleatoriedade das colisões das partículas reagentes (íons, moléculas ou átomos) numa reação química ordinária. Mas, é preciso ressaltar que:

1) Esse dispositivo não é o mais apropriado para se lidar com o conceito de “*velocidade de reação*”. Vejamos por que motivo. Consideremos uma única bolinha preta e uma bolinha vermelha apenas no interior da caixa (reator). Qual seria a probabilidade de haver colisão efetiva (retirada de uma bolinha de cada cor em sequência)? Cem por cento, correto? Suponhamos agora que aumentássemos a quantidade de bolinhas vermelhas para dez, mantendo apenas aquela única bolinha preta no interior do reator? E, em seguida, pedíssemos a um dos

alunos envolvidos na pesquisa para fazer uma tentativa (retirada de duas bolinhas em sequência). Qual seria a chance, agora, de ocorrer uma colisão efetiva (correspondente a duas bolinhas de cores diferentes)? Menor que cem por cento, claro. Ora, esse fato poderia induzir o estudante a concluir que um aumento na quantidade de bolinhas (aumento da concentração de reagentes, em última análise) seria responsável por uma diminuição da probabilidade de haver choque efetivo e, portanto, que a velocidade da reação iria diminuir. Isso seria frontalmente contrário àquilo que é proposto pela teoria cinética das colisões e este é um dos pontos deficientes do experimento.

II) Outra questão delicada é a da não utilização do tempo na simulação da reação. A teoria das colisões lida com aspectos probabilísticos, mas envolvendo situações dinâmicas, cujos resultados são determinados pela associação entre um evento probabilístico (estático) e um evento temporal (dinâmica das colisões), do qual o experimento de Piaget e Inhelder não consegue dar conta. Estes dois eventos são inseparáveis e sua interdependência fica explícita na expressão da velocidade das reações em que aparecem as concentrações dos reagentes (termo que está relacionado à Teoria das Probabilidades), e o fator de frequência (que estabelece o número de choques por unidade de tempo, conforme previsto pela Teoria das Colisões). Como em nossa simulação de reação a coordenada temporal não está presente, não é possível, ao longo do experimento, destacar a relação entre velocidade e quantidade (concentração) de reagentes e produtos. Pelo número de tentativas que foram feitas, sem a análise efetiva da frequência de retirada de pares de bolinhas pretas e vermelhas, não se pode afirmar nada acerca da variação da velocidade. Numa das simulações, por exemplo, um dos alunos (CES), precisou de cinco tentativas (retiradas de duas bolinhas em sequência), para conseguir um par de bolinhas “preta-vermelha” ou “vermelha-preta” (par PV ou VP). Mas, logo em seguida, precisou de apenas mais uma tentativa para conseguir um novo par PV. Ora, esse fato poderia conduzi-lo ao raciocínio de que a velocidade aumentou, mesmo com menos bolinhas no interior do reator (menor concentração de reagentes). Novamente, haveria contradição em relação ao modelo proposto (estatístico) pela Teoria das Colisões. Por isso, nossa preocupação em não colocar o termo “*velocidade de reação*” atrelado ao experimento, e nos atermos apenas ao evento probabilístico em si (as colisões e o comportamento aleatório das partículas numa reação).

III) Outro tipo de limitação, também relacionada às condições da simulação realizada¹⁰, é o cálculo da probabilidade (de colisão efetiva) em função da quantidade de bolinhas presentes no reator (saco fechado). Matematicamente, como duas bolinhas (uma de cada cor) são sempre retiradas numa colisão efetiva (par PV, ou VP), o valor percentual de probabilidade deveria permanecer aproximadamente constante e próximo de 50%. Como uma bolinha branca é introduzida (simultaneamente à retirada do par PV ou VP) para representar o produto formado na colisão efetiva, ocorrem distorções nesse cálculo, mas que, no nosso entendimento, não chegam a comprometer o objetivo do teste, que é o de fornecer subsídios (de visualiza-

¹⁰ A escolha sobre como as bolinhas seriam retiradas do saco fechado (simulando um reator) se inspirou muito nos experimentos que Piaget e Inhelder (1975) descrevem em seu livro, porém, caso tivéssemos realizado o experimento fazendo a retirada simultânea das mesmas, os resultados talvez se aproximassem mais do modelo cinético cientificamente aceito.

ção inclusive) para que o estudante elabore um modelo probabilístico de colisão numa reação química. Caso fizéssemos, em nossa simulação, a extração das duas bolinhas ao mesmo tempo (já que colisão sugere choque simultâneo), a probabilidade seria de 33%, pois seriam, então, três os eventos possíveis (par VV, par PP, ou par PV/VP). Por um descuido nosso, em algumas entrevistas, chegamos mesmo a indagar os estudantes sobre a probabilidade de ocorrer colisão efetiva na primeira tentativa, ao invés de perguntar sobre a chance de sair um par de bolinhas de cores diferentes (PV ou VP), e, evidentemente, esse fato pode ter influenciado algumas das respostas, mas entendemos que, mesmo que isso tenha ocorrido, não houve comprometimento dos resultados como um todo. Outro ponto a ser discutido, talvez em futuros trabalhos que venham a investigar mais facetas do aspecto probabilístico das colisões em cinética química, é o experimento envolvendo as esferas (bolinhas de gude) oscilando num plano inclinado, dotado de um separador. Seria uma alternativa à utilização do reator fechado com as bolinhas pretas e vermelhas estáticas. Nesse caso, como as bolinhas de gude estão em movimento, e sofrem colisões mudando de lado em relação ao separador, poder-se-ia pensar num experimento onde as colisões efetivas fossem aquelas que envolvessem bolinhas de gude de cores diferentes e com troca de posição (que representaria a energia de ativação necessária) em relação ao separador central. Desse modo, talvez, se permitisse uma visualização mais realista de outras características (como a dinâmica de movimento das partículas reagentes) da cinética molecular, propiciando, ao estudante, melhores condições de elaboração de seu modelo. Por último, com base nas transcrições e nas análises das respostas dos questionários com os sujeitos de nossa investigação, podemos afirmar que existe uma grande possibilidade de os estudantes conseguirem estabelecer relações entre os conteúdos de cinética química - em particular da Teoria das Colisões - e as idéias de acaso e probabilidade. Isso, em nossa opinião, vai depender da abordagem utilizada e da estratégia de ensino adotada pelo professor.

Referências

- BACHELARD, G. **A filosofia do não**. Lisboa: Editorial Presença, 1991.
- BELTRAN, N. O. Idéias em movimento. **Química Nova na Escola**, Belo Horizonte, n. 5, p. 14-7, 1997.
- BOGDAN, R.; BIKLEN, S. K. **Investigação em educação**: uma introdução à teoria e aos métodos. Porto: Porto Ed., 1994.
- BOROVCNIK, M.; PEARD, R. Probability. In: BISHOP, A. J. et al. (Eds.). **International Handbook of Mathematics Education**. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 1996. p. 239-87.
- BRASIL. Ministério da Educação. **Parâmetros Curriculares Nacionais do Ensino Médio** (PCN), 1999. Disponível em: <<http://www.mec.gov.br>>. Acesso em: 21 out. 2006.
- DAVIES, C. H. Development of the probability concept in children. **Child Development**, Ann Arbor (Michigan/USA), v. 36, p. 779-88, 1966.
- DISESSA, A. Toward an epistemology of physics. **Cognition and Instruction**, New Haven (Connecticut/USA), v. 10, n. 2/3, p. 105-225, 1993.
- FISCHBEIN, E. **The intuitive sources of probabilistic thinking in children**. Dordrecht: D. Reidel Publishing Company, 1975.
- GODINO, J. D.; BATANERO, M.; CAÑIZARES, M. J. **Azar y probabilidad**. Madrid: Síntese, 1996.
- GOLDBERG, S. Probability judgments by preschool children: task conditions and performance. **Child Development**, Ann Arbor (Michigan/USA), v. 37, p. 157-68, 1966.
- GRECA, I. M.; SANTOS, F. M. T. Dificuldades da generalização das estratégias de modelação em Ciências: o caso da Física e da Química. **Investigações em Ensino de Ciências**, Porto Alegre, v. 10, n. 1, 2005. Disponível em: <<http://www.if.ufrgs.br/public/ensino/revista.htm>>. Acesso em: 13 set. 2006
- GREEN, M. G. Structure and sequence in children's concepts of chance and probability: a replication study of Piaget and Inhelder. **Child Development**, Ann Arbor (Michigan/USA), v. 49, p. 1045-53, 1978.
- HOEMANN, H. W.; ROSS, B. M. Children's understanding of probability concepts. **Child Development**, Ann Arbor (Michigan/USA), v. 42, p. 221-36, 1971.
- JUN, L. **Chinese student's understanding of probability**, 2000. 341f. Thesis - National Institute of Education, Nanyang Technological University, Nanyang (China), 2000.
- JUSTI, R. S.; RUAS, R. M. Aprendizagem de Química: reprodução de pedaços isolados de conhecimento? **Química Nova na Escola**, Belo Horizonte, n. 5, p. 24-7, 1997.
- KUZMAK, S. D.; GELMAN, R. Young children's understanding of random phenomena. **Child Development**, Ann Arbor (Michigan/USA), v. 57, p. 559-66, 1986.

LEAKE, L. Jr. The status of three concepts of probability in children of seventh, eighth and ninth grades. **The Journal of Experimental Education**, Farmington Hills (Michigan/USA), v. 34, n. 1, p. 78-84, 1965.

LIMA, J. F. L. et al. A contextualização no ensino de cinética química. **Química Nova na Escola**, Belo Horizonte, n. 11, p. 26-9, 2000.

LOPES, C. A. E. **A Probabilidade e a Estatística no Ensino Fundamental: uma análise curricular**. 1998. 126f. Dissertação (Mestrado) - Faculdade de Educação, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 1998.

_____.; MORAN, R. C. C. P. A estatística e a probabilidade através das atividades propostas em alguns livros didáticos brasileiros recomendados para o Ensino Fundamental. In: CONFERÊNCIA INTERNACIONAL: EXPERIÊNCIAS E PERSPECTIVAS DO ENSINO DE ESTATÍSTICA – DESAFIOS PARA O SÉCULO XXI, 1., 1999, Florianópolis. **Anais...** Florianópolis, 1999. p. 167-74.

MASTERTON, W. L.; SLOWINSKI, E. J.; STANITSKI, C. L. **Princípios de Química**. Rio de Janeiro: LTC, 1990.

MORAES, R. Metamorfoses múltiplas: emergências incertas e inseguras no caminho da análise textual discursiva. Mini-curso sobre análise textual: metodologia de análise de informações em pesquisas qualitativas em Educação em Ciências. In: ENCONTRO NACIONAL DE PESQUISA EM EDUCAÇÃO EM CIÊNCIAS, 5., 2005, Bauru. **Anais...** Bauru, 2005. CD-ROM.

_____.; GALIAZZI, M. C. **Análise textual discursiva**. Ijuí: Ed. Unijuí, 2007.

_____.: _____. Análise textual discursiva: processo reconstrutivo de múltiplas faces. **Ciência & Educação**, Bauru, v. 12, n. 1, p. 117-28, 2006.

_____.; _____. Uma tempestade de luz: a compreensão possibilitada pela análise textual discursiva. **Ciência & Educação**, Bauru, v. 9, n. 2, p. 191-211, 2003a.

_____.; _____. Tomando conta do ambiente em que se vive: aprendizagem e apropriação de discursos pela linguagem. In: ENCONTRO INTERNACIONAL DE LINGUAGEM, CULTURA E COGNIÇÃO: REFLEXÕES PARA O ENSINO, 2., 2003, Belo Horizonte. **Anais...** Belo Horizonte: Faculdade de Educação da UFMG, 2003b. CD-ROM.

_____.; _____.; RAMOS, M. G. Um contínuo ressurgir de Fênix: reconstruções discursivas compartilhadas na produção escrita. Mini-curso sobre análise textual: metodologia de análise de informações em pesquisas qualitativas em Educação em Ciências. In: ENCONTRO NACIONAL DE PESQUISA EM EDUCAÇÃO EM CIÊNCIAS, 5., 2005, Bauru. **Anais...** Bauru, 2005. CD-ROM.

MORTIMER, E. F. Concepções de estudantes sobre reações químicas. **Química Nova na Escola**, Belo Horizonte, n. 2, p. 23-6, 1995.

- PAPARISTODEMOU, E.; NOSS, R.; PRATT, D. Exploring in sample space: developing young children's knowledge of randomness. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON TEACHING STATISTICS, 6., 2002, Voorburg (The Netherlands). **Proceedings...** Voorburg, 2002. CD-ROM.
- PIAGET, J. **A epistemologia genética: sabedoria e ilusões da filosofia**. São Paulo: Abril Cultural, 1978.
- _____. **A construção do real na criança**. Rio de Janeiro: Zahar, 1975a.
- _____. **A formação do símbolo na criança**. Rio de Janeiro: Zahar, 1975b.
- _____.; INHELDER, B. **The origin of the idea of chance in children**. New York: Norton & Company Publishers, 1975.
- _____.; _____. **O desenvolvimento das quantidades físicas na criança**. Rio de Janeiro: Zahar, 1971.
- ROSS, B. M. Probability concepts in deaf and hearing children. **Child Development**, Ann Arbor (Michigan/USA), v. 37, p. 917-27, 1966.
- ROTUNNO, S. A. M. O estudo da Estatística e Probabilidade nos currículos escolares. In: ENCONTRO BRASILEIRO DE ESTUDANTES DE PÓS-GRADUAÇÃO EM EDUCAÇÃO MATEMÁTICA, 6., 2002. Campinas. **Anais...** Campinas: Universidade Estadual de Campinas, 2002. CD-ROM.
- SABADINI, E.; BIANCHI, J. C. A. Ensino do conceito de equilíbrio químico: uma breve reflexão. **Química Nova na Escola**, Belo Horizonte, n. 25, p. 10-3, 2007.
- SCHNETZLER, R. P.; ROSA, M. I. F. P. Sobre a importância do conceito "transformação química" no processo de aquisição do conhecimento químico. **Química Nova na Escola**, Belo Horizonte, n. 8, p. 31-5, 1998.
- TROMPLER, S. Statistics and Probability before the age of 15 at Decroly School. **Teaching Statistics**, Rapid City (South Dakota/USA), v. 4, n. 1, p. 5-8, 1982.
- WAY, J. The development of young children's notions of probability. In: EUROPEAN RESEARCH IN MATHEMATICS EDUCATION, 3., 2003, Bellaria (Italy). **Proceedings...** Bellaria: Third Conference of the European Society for Research in Mathematics Education, 2003. CD-ROM.
- YOST, P. A.; SIEGEL, A. E.; ANDREWS, J. M. Nonverbal probability judgments by young children. **Child Development**, Ann Arbor (Michigan/USA), v. 33, p. 769-80, 1962.