

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA - UNESP

FACULDADE DE CIÊNCIAS DE BAURU

MARCELO MAIA CIRINO

**A INTERMEDIÇÃO DA NOÇÃO DE PROBABILIDADE NA CONSTRUÇÃO DE
CONCEITOS RELACIONADOS À CINÉTICA QUÍMICA NO ENSINO MÉDIO**

BAURU/SP

2007

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA - UNESP

FACULDADE DE CIÊNCIAS DE BAURU

MARCELO MAIA CIRINO

**A INTERMEDIÇÃO DA NOÇÃO DE PROBABILIDADE NA CONSTRUÇÃO DE
CONCEITOS RELACIONADOS À CINÉTICA QUÍMICA NO ENSINO MÉDIO**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Educação para a Ciência, da Faculdade de Ciências da UNESP/Campus de Bauru, como requisito à obtenção do título de mestre em “Educação para a Ciência”, sob a orientação do prof. Dr. Aguinaldo Robinson de Souza.

BAURU/SP

2007

**DIVISÃO TÉCNICA DE BIBLIOTECA E DOCUMENTAÇÃO
UNESP - BAURU**

Cirino, Marcelo Maia.

A intermediação da noção de probabilidade na construção de conceitos relacionados à cinética química no ensino médio / Marcelo Maia Cirino, 2007.

201 f. il.

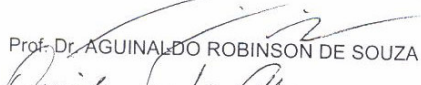
Orientador : Aguinaldo Robinson de Souza.

Dissertação (Mestrado) - Universidade Estadual Paulista. Faculdade de Ciências, Bauru, 2007.

1. Probabilidades. 2. Cinética química. 3. Teoria das colisões. I - Universidade Estadual Paulista. Faculdade de Ciências. II - Título.

**ATA DA DEFESA PÚBLICA DA DISSERTAÇÃO DE MESTRADO DE MARCELO MAIA CIRINO,
DISCENTE DO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM EDUCAÇÃO PARA A CIÊNCIA, DO(A)
FACULDADE DE CIÊNCIAS DE BAURU.**

Aos 30 dias do mês de março do ano de 2007, às 14:30 horas, no(a) Sala 01 da Pós-graduação, reuniu-se a Comissão Examinadora da Defesa Pública, composta pelos seguintes membros: Prof. Dr. AGUINALDO ROBINSON DE SOUZA do(a) Departamento de Química / Faculdade de Ciências de Bauru, Prof. Dr. OURIDES SANTIN FILHO do(a) Departamento de Química / Universidade Estadual de Maringá, Prof. Dr. MARCELO CARBONE CARNEIRO do(a) Departamento de Ciências Humanas / Faculdade de Arquitetura, Artes e Comunicação de Bauru, sob a presidência do primeiro, a fim de proceder a arguição pública da DISSERTAÇÃO DE MESTRADO de MARCELO MAIA CIRINO, intitulado "A INTERMEDIÇÃO DA NOÇÃO DE PROBABILIDADE NA CONSTRUÇÃO DE CONCEITOS RELACIONADOS À CINÉTICA QUÍMICA NO ENSINO MÉDIO". Após a exposição, o discente foi arguido oralmente pelos membros da Comissão Examinadora, tendo recebido o conceito final: APROVADO. Nada mais havendo, foi lavrada a presente ata, que, após lida e aprovada, foi assinada pelos membros da Comissão Examinadora.


Prof. Dr. AGUINALDO ROBINSON DE SOUZA


Prof. Dr. OURIDES SANTIN FILHO


Prof. Dr. MARCELO CARBONE CARNEIRO

Dedico este trabalho à memória de meu pai, Dr. Saulo Lisboa Cirino, que nos deixou enquanto estávamos envolvidos com a pesquisa. Foi meu maior exemplo de caráter, honestidade e honradez

AGRADECIMENTOS

Ao meu orientador, prof. Dr. Aguinaldo Robinson de Souza, pela disponibilidade, pelo incentivo, por compartilhar seu conhecimento e sua experiência e, acima de tudo, pela amizade e companheirismo durante todas as etapas deste trabalho.

Aos professores Ourides Santin Filho (UEM) e Marcelo Carbone Carneiro (FAAC/UNESP), pelas valiosíssimas sugestões, discussões e comentários por ocasião do exame de qualificação.

À minha esposa Adriana, meu filho Felipe, meu irmão Saulo e toda a família pelo apoio, pela torcida, pela motivação, e principalmente, por compreenderem minhas ausências, meu eventual mau humor e suportarem minha ansiedade durante o período da pesquisa.

À minha mãe, dona Luzinette, grande incentivadora, minha maior fonte de fé, energia e perseverança.

Aos meus colegas do curso de mestrado, Edval Viveiros, Helena da Silva Santos, Ayrton Castilho, Mariana Bologna, Sandra Sposito, Sérgio Mantovani e os de doutorado, Marinez Meneghello, Neide Kiouranis, Sérgio Camargo e Fernanda Bozelli pela convivência frutífera, pelas sugestões e palpites, pelos relevantes debates e pelos ótimos momentos compartilhados.

Aos alunos que participaram da pesquisa, pela paciência, envolvimento, colaboração e empenho em nos ajudar a executar da melhor maneira possível este trabalho.

À Ana Lúcia Grijó Crivellari e Andressa Ferraz Castro, da secretaria da Pós-Graduação da Faculdade de Ciências, pelo inestimável auxílio, atenção e disponibilidade sempre que requisitadas.

Ao prof. Dr. Roberto Nardi, pela oportunidade de trabalho na equipe técnica da revista *Ciência & Educação*.

À **CAPES**, pelo apoio financeiro.

“Do mesmo modo, em microfísica, por mais primitivo e essencial que seja considerado o aleatório, o cálculo dos estados e das transformações é de imediato ligado a sistemas de operadores que introduzem a reversibilidade das ações do observador no seio dos fenômenos irreversíveis, até criar a mesma simbiose entre o operatório e o real...”

(Jean Piaget)

CIRINO M. M. A intermediação da noção de probabilidade na construção de conceitos relacionados à cinética química no Ensino Médio. 2007. 201f. Dissertação (Mestrado em Educação para a Ciência). Faculdade de Ciências, UNESP, Bauru, 2007.

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 principalmente nos estudos realizados por Piaget (1975, 1975b, 1977), Piaget & Inhelder (1975,1977), Jun (2000) e Fischbein (1975). 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 estabelecer 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 o cientificamente aceito.

PALAVRAS-CHAVE: Probabilidade, Cinética Química, Teoria das Colisões.

ABSTRACT

The purpose of this work is to contribute for Science teaching making analysis and reflections on the way high school students appropriate the concepts and models related to Chemical Kinetics, mainly particles collisions' kinetics model in chemical reaction (Collision Theory Model). This investigation was based on Piaget and Inhelder' studies (1975), and also on Piaget (1975, 1977), Jun (2000), and Fischbein (1975) works, which have studied the connection between the young students and the probabilistic thinking. The analysis of the document evidences had the aim to evaluate if the students would be able to achieve generalization and develop concepts about Probability Theory. In the second part these concepts or its partial/total lacks were linked with chemical kinetics in attempt to establish relationships between correct explanation of collision kinetic model and the students' failure models. The obtained result points to great misconceptions related to the correct and scientific model and the student's.

KEYWORDS: Probability, Chemical kinetics, Collision Theory Model.

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO.....	12
 CAPÍTULO 01	
1.1 A motivação para a pesquisa e a escolha do tema	16
1.2 A abordagem da <i>TC</i> nos livros didáticos de Química.....	17
1.3 A importância do ensino de <i>estocástica</i> na Educação Básica.....	27
1.4 O ensino de probabilidade e seus obstáculos epistemológicos.....	31
1.5 Diferentes abordagens do conceito de probabilidade.....	33
 CAPÍTULO 02	
2.1 Os referenciais teóricos e a noção de <i>conceito</i>	39
2.1.1 A formação de conceitos na visão de Piaget.....	44
2.1.2 A noção de <i>conceito</i> na área de Educação em Ciências.....	47
2.2 Uma revisão da literatura sobre o tema <i>Cinética Química</i>	49
2.3 Os referenciais teóricos e a formação do pensamento probabilístico.....	56
2.3.1 As críticas ao trabalho de Piaget e Inhelder.....	61
 CAPÍTULO 03	
3.1 A metodologia e os instrumentos de coleta de dados.....	71
3.1.1 Os pré-testes: entrevistas acerca do conceito de mistura.....	73
3.1.2 Os pré-testes: entrevistas acerca do conceito de distribuição uniforme.....	83
3.1.3 Os pré-testes: entrevistas acerca do conceito de permutação.....	85
3.2 O pós-teste: entrevistas acerca da Teoria das Colisões.....	88

3.2.1 Breve histórico da Teoria das Colisões.....	88
3.2.2 O que pensam os alunos sobre a Teoria das Colisões.....	94
3.2.3 A entrevista final: os alunos identificam aspectos probabilísticos na <i>TC</i> ?.....	99

CAPÍTULO 04

4.1 A noção de probabilidade e acaso nos estudantes investigados.....	108
4.2 A relação entre os aspectos probabilísticos e a compreensão da <i>TC</i>	113
4.2.1 A necessidade de outras categorias.....	116
4.3 Considerações finais.....	120

REFERÊNCIAS.....	126
-------------------------	------------

ANEXO I.....	133
---------------------	------------

Entrevistas Pré-teste I.....	134
Entrevistas Pós-teste II.....	153

ANEXO II.....	169
----------------------	------------

Questionário.....	170
Representações Pré-teste II.....	186

Introdução

No ensino de Ciências, particularmente no ensino da 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 os listados a seguir:

- 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.

O próprio discurso do professor de Química, no Ensino Médio, com frequência utiliza palavras, expressões ou mesmo terminologias que remetem aos conceitos probabilísticos. Por exemplo, quando se fala em “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 pretende investigar 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. Os participantes escolhidos foram os de melhor desempenho escolar, baseado no aproveitamento e na participação dos mesmos até o terceiro bimestre, pois a coleta de dados foi realizada nos meses de setembro, outubro e novembro de 2006. Nessa classe 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 submetemos os alunos foram baseados nos trabalhos de Piaget (1977, 1978) e, principalmente 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 Pequim, 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 estabelecer 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, pré-estabelecidas, ou seja, não são as chamadas categorias “*a priori*”¹. Elas emergiram do agrupamento progressivo de seus elementos e tiveram as definições de seus títulos somente ao

¹ Autores como Laville et al (1999,) descrevem as categorias em “*a priori*” e “*emergentes*”, e, inclusive, defendem a utilização das duas alternativas.

final do processo. Utilizamos como referencial teórico para análise das transcrições e das intervenções dos estudantes entrevistados 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 & Galianzi, 2005).

Capítulo 01

1.1 A motivação para a pesquisa e a escolha do tema

Nosso interesse pelo assunto “*Cinética Química*” foi aos poucos se tornando maior a medida que, em sala de aula, durante nossas práticas, percebíamos a enorme dificuldade que os alunos encontram quando da elaboração de conceitos relacionados a esse tópico, justamente em função dos obstáculos epistemológicos e ontológicos inerentes a esse assunto. No caso desse conteúdo, segundo Lima et al. (2000), os estudantes apresentam sérias limitações na elaboração de modelos e na construção de conceitos que dêem conta da compreensão da “*Teoria Cinética das Colisões*”. Um desses obstáculos, e nossa hipótese baseia-se nesse argumento, é a não utilização da teoria das probabilidades como recurso didático de apoio ao ensino/aprendizagem desse modelo. Nas salas de aula, na maioria das vezes, os modelos introduzidos pelos professores para a compreensão de como as reações químicas ocorrem no nível submicroscópico partem do pressuposto, segundo Mortimer (2000), de que os conhecimentos prévios dos estudantes devem ser substituídos por construções que superem as analogias superficiais e a prisão perceptiva em que eles se encontram, pois o “mundo dos sentidos” não é suficiente para o entendimento dos mesmos:

[...] ao mesmo tempo, por não estar submerso em sua lógica operatória, como a criança no período concreto, o adolescente admite a existência de idéias diferentes das suas e tem capacidade de compará-las e julgá-las por aqueles parâmetros de adequação à realidade e à coerência interna. Essa mudança de plano, que permite ao adolescente olhar de cima para o seu próprio mundo, é essencial para o aprendizado e avaliação de teorias e modelos científicos. (Mortimer, 2000, p. 120)

Assim quando nós, professores de química, tratamos de choques aleatórios entre partículas (átomos, moléculas ou aglomerados iônicos) para viabilizar a formação do “*complexo*

ativado” num modelo cinético aceito cientificamente, surge uma ótima oportunidade de investigar em que nível os estudantes elaboram esse modelo e se utilizam ou não, apropriam-se ou não, de elementos da teoria das probabilidades para compreendê-lo melhor.

1.2 Abordagem da “Teoria das Colisões” nos livros didáticos de Química utilizados no Ensino Médio

Segundo Lajolo (1996), citado por Sá (2006), os livros didáticos no Brasil são centrais quando se referem à circulação, produção e à apropriação de inúmeros conhecimentos, tendo portanto, um papel destacado no contexto escolar. Eles são utilizados sistematicamente nas aulas e, muitas vezes, acabam determinando os conteúdos a serem trabalhados nos diversos componentes curriculares (Sá, 2006). O livro didático tem sido também, ao longo das últimas décadas, considerado o recurso instrucional mais utilizado no processo de ensino-aprendizagem. Para o professor, ele tem sido a ferramenta através da qual se pode selecionar, organizar e desenvolver o conteúdo de um curso, tópico, unidade ou aula (Schnetzler, 1980). Para o aluno, a utilização do livro didático tem propiciado a apresentação e revisão da matéria, além de ser a fonte, por excelência, de contato com conteúdos, exercícios, problemas e atividades comumente consideradas nas salas de aulas. Outra razão para a ampla utilização do livro texto diz respeito à busca e formação de novos leitores. Segundo Schnetzler (1980) a cada ano, novos livros são publicados, maiores investimentos são direcionados pelo poder público para a compra e distribuição destes junto às escolas, e mesmo na rede particular de ensino, nos níveis fundamental e médio, sua ascensão é determinante a ponto de produzir uma dependência passiva e, até certo ponto acrítica do professor. Segundo Megid Neto & Fracalanza (2003), programas de melhoria da qualidade do livro didático brasileiro e de distribuição ampla para os estudantes de escolas públicas têm sido uma das principais ações

do governo federal e de seu Ministério da Educação desde a década de 30 do século passado. De acordo com esses autores, muitos pesquisadores acadêmicos vêm se dedicando há pelo menos duas décadas a investigar a qualidade das coleções didáticas, denunciando suas deficiências e apontando soluções para a melhoria de sua qualidade. Podemos citar, por exemplo, na área da Química, os trabalhos de Schnetzler (1980, 1981), Mortimer (1988) e Lopes (1990). De acordo com Tiedemann (1998) e particularmente no ensino da Química, fala-se muito na “abordagem do cotidiano”, onde se tenta mostrar ao estudante fenômenos químicos que lhe são familiares procurando despertar a sua curiosidade científica. Na prática, ainda segundo este mesmo autor, os conteúdos dos livros de Química apresentam um volume enorme de informações, nem sempre adequadas à idade do aluno e nem sempre respeitando uma seqüência que favoreça a aprendizagem. Essa aprendizagem, contudo, pode ser dificultada pelo uso de metáforas e analogias, com o intuito de efetuar a transposição didática do conhecimento científico, muitas vezes deturpando este último (Lopes, citada por Tiedemann, 1998). Na visão de outros pesquisadores, como Schnetzler & Santos (2003), o estado atual do ensino de Química no Brasil não serve nem para o cidadão, nem para quem vai fazer vestibular, ou seja, tem sido de pouca utilidade, além de não alcançar seus objetivos.

Os mesmos autores afirmam que:

Enquanto nos limitarmos a uma educação científica pura e neutra, desvinculada dos aspectos sociais, a nossa contribuição será muito pouca para reverter o atual quadro da sociedade moderna. Essa educação alienante e defeituosa tem até mesmo reforçado o sistema de dominação humana. (Schnetzler & Santos, 2003, p. 130)

Com relação ao conteúdo específico de *Cinética Química*, objeto de nossa investigação, na maioria dos livros didáticos destinados ao Ensino Médio, esse tópico é apresentado no volume *dois* das coleções (que normalmente têm três volumes), ou seja, no volume utilizado no segundo ano do Ensino Médio. Por outro lado, em algumas escolas da rede pública, que também fazem uso de livros didáticos, este assunto faz parte da programação curricular do

terceiro ano (nesse caso normalmente são adotados livros que abrangem todo conteúdo de química do Ensino Médio num único volume). De qualquer modo, quando se trata de apresentar a *Cinética Química*, os livros e autores citados a seguir, oferecem um tratamento amplo e bem detalhado, mas nem sempre com abordagens que se relacionam com os elementos da teoria das probabilidades. Com maior frequência, o que se pode constatar, é que quase todos trazem, nos capítulos destinados ao estudo da *Cinética Química*, apresentações e tratamentos muito semelhantes. Um exemplo disso é o detalhamento sobre os requisitos necessários para que uma reação química tenha condições de ocorrer, segundo a maioria dos livros investigados:

- a) afinidade química entre as partículas reagentes;
- b) contato físico entre as mesmas;
- c) as partículas (moléculas, íons, átomos) devem colidir entre si;
- d) a colisão entre as partículas dos reagentes deve ocorrer numa orientação favorável e com energia suficiente para romper as ligações existentes nos reagentes, ou seja, deve ocorrer com uma energia igual ou superior à da energia de ativação. No caso de colisão favorável e formação do complexo ativado, a maioria dos livros investigados traz, normalmente, um ou mais diagramas ilustrativos conforme o esquematizado na **figura 01**, mostrada a seguir:

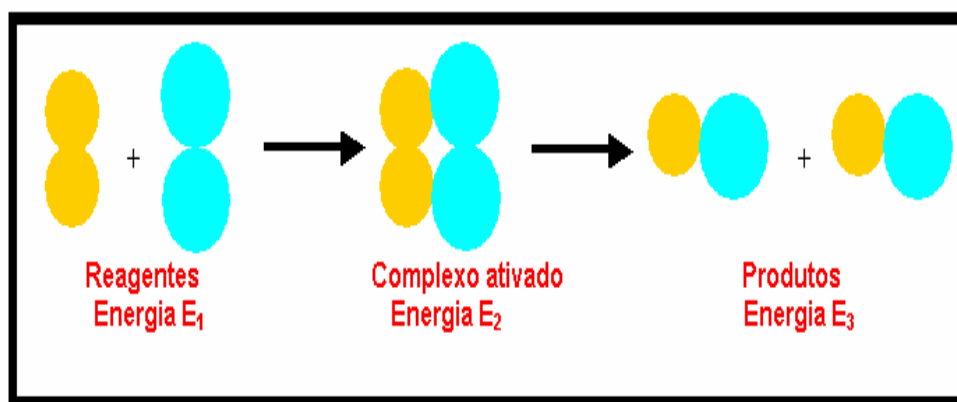


Fig. 01

No caso ilustrado pela figura 01 tem-se uma colisão efetiva, ou seja, que resulta em produto(s). Mas, caso a colisão não ocorra com a orientação espacial favorável, ou sem a energia de ativação necessária, tem-se uma colisão não-efetiva, que não resulta na formação do(s) produto(s) da reação, como representado na **figura 02**, a seguir:

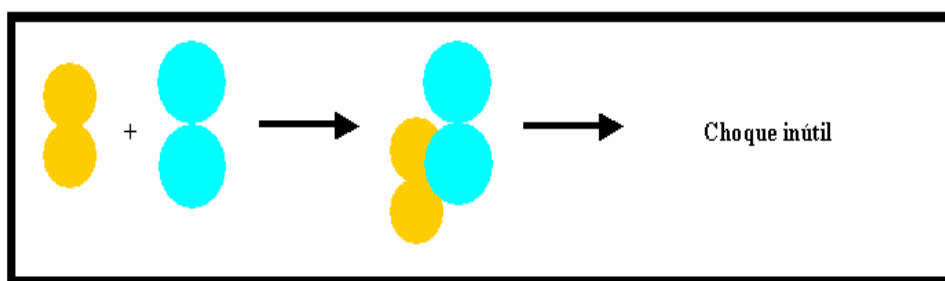


Fig. 02

Porém, aquilo que nos mobilizou nessa pesquisa, os aspectos probabilísticos das colisões, ou seja, a maneira aleatória pela qual as partículas se movimentam e interagem num processo de reação química, são ignorados na maioria dos livros que investigamos. Outro ponto que, a nosso ver, é pouco explorado é a não contextualização do estudo da *Cinética Química* em relação a outros conteúdos de interesse da própria Química, como a *Termodinâmica* por exemplo. Pouco se tem destacado, nesses livros, a grande diferença entre a cinética e a termodinâmica química: a velocidade de uma reação química depende do mecanismo da reação, enquanto que a quantidade de energia (calor) liberada ou absorvida por uma reação química depende apenas da natureza dos reagentes e dos produtos formados, isto é, independe do mecanismo de como os reagentes se transformaram em produtos.

Vejamos então como alguns livros, dentre os que são mais utilizados tanto na rede pública como na rede privada de ensino, trabalham com o conteúdo de *Cinética*, no que diz respeito à Teoria das Colisões. Esses livros foram escolhidos por figurarem em várias pesquisas na área

de ensino de Química (veja por exemplo Monteiro e Justi, 2000; Mortimer, 1988; Loguercio et al., 2001; Tiedemann, 1998; Sá, 2006), e devido à sua grande tiragem e distribuição.

Em Tito (Peruzzo) e Canto (2003), em seu volume 02, por exemplo, não há propriamente uma abordagem “probabilística”, porém, quase ao final do capítulo, num dos boxes que complementam as explicações do texto aparece uma ilustração mostrando um salão de baile com pessoas dançando (homens e mulheres) e o texto diz:

Quanto maior a concentração de homens e/ou de mulheres, maior a probabilidade de haver colisão entre um homem e uma mulher, durante a dança. Homens e mulheres representam as moléculas de A e B, na reação $A + B \rightarrow \text{produtos}$. (Tito e Canto, 2003, v. 02, p. 192)

Numa outra parte do capítulo, onde se discute o modelo cinético para as reações elementares, lê-se:

Quanto maior for a concentração de A (reagente) maior será a *probabilidade* de haver as colisões necessárias [...] no caso de uma reação elementar, como por exemplo $A + B + C \rightarrow \text{produtos}$, a velocidade da reação depende da *probabilidade* de ocorrer colisão simultânea entre uma molécula de A, uma de B, e uma de C. (idem, p. 192)

Percebe-se então, embora de maneira tímida, a intenção dos autores em transmitir ao estudante leitor a idéia de evento probabilístico na elaboração do modelo de colisão de partículas nas reações, ou seja, que as mesmas ocorrem ao acaso. Em Covre (2000), não há menção de que os choques sejam aleatórios durante o desenvolvimento do assunto (e nem mesmo nos exemplos tomados), porém ao indicar as condições que influenciam a velocidade das reações, os itens “pressão”, “existência de solução” e “concentração dos reagentes”, trazem, respectivamente:

[...] para gases, quanto maior a pressão, menor a distância entre as partículas, maior a *probabilidade* de choque e, portanto, maior a velocidade da reação [...] ao dissolver os reagentes num solvente, as partículas distribuem-se por um volume maior que o seu próprio, aumenta a *probabilidade* de choques e, portanto, aumenta a velocidade da reação [...] quanto mais concentrada for a solução, maior o número de moléculas por unidade de volume, maior a *probabilidade* de choque e, portanto, maior a velocidade da reação [...] (Covre, 2000, v. 02, p.182)

Observa-se neste autor, embora sem destaque, a preocupação em apontar o processo aleatório das colisões de partículas para seus leitores. Convém registrar, entretanto, que dois dos fragmentos do texto, extraídos como exemplos, contêm erros conceituais:

- a) “...quanto maior a pressão, menor a distância entre as partículas...” não corresponde à interpretação correta que se faz para um aumento de pressão sobre um sistema gasoso. Faltou esclarecer que apenas nos casos em que o aumento da pressão (à temperatura constante) é acompanhado da redução de volume, o caminho livre médio das partículas poderá diminuir (pois o espaço disponível diminui), aumentando a probabilidade de choque entre as mesmas.
- b) “...ao dissolver os reagentes num solvente, as partículas distribuem-se por um volume maior que o seu próprio...”, faz menção à dissolução de sólidos num solvente líquido, mas faltou esclarecer a que “volume maior” o autor se refere, pois naturalmente a difusão das partículas de soluto no solvente, por si só já é aleatória.

Já em Fonseca (2001), somente quando da abordagem dos fatores interferentes na velocidade das reações, mais especificamente da “influência da concentração”, é que temos:

[...] Quanto maior o número de partículas de reagentes por unidade de volume, isto é, quanto maior a concentração, maior será a probabilidade de haver colisão efetiva entre essas partículas. Consequentemente maior será a velocidade da reação [...] (Fonseca, 2001, v. 02, p. 254)

Esta autora, portanto, não prioriza nem mesmo em posições de menor destaque dentro do capítulo dedicado à *Cinética Química*, os termos que poderiam fazer o estudante refletir sobre a aleatoriedade das colisões. Assim também ocorre em Lembo (1999), onde o aspecto probabilístico das colisões só é revelado quando da introdução dos fatores que influenciam a velocidade das reações. No item “superfície de contato”, aparece:

[...] no comprimido pulverizado (referindo-se à foto acima do texto em que dois copos com água aparecem, num deles um comprimido de antiácido despejado na forma triturada) os grãos oferecem maior superfície de contato para a água. Isso aumenta a *probabilidade* de colisões favoráveis, e a reação fica mais rápida [...] (Lembo, 1999, v. 02, p. 155)

Ainda neste capítulo o autor cita a casualidade das colisões novamente, quando outro fator interferente da velocidade das reações é investigado, a “influência da concentração”:

“O aumento da concentração dos reagentes é um desses fatores. De um modo geral, quanto maior a concentração dos reagentes, maior será a probabilidade de ocorrerem colisões favoráveis” (idem, p. 166)

Logo, podemos confirmar que mesmo de maneira superficial e breve, a expressão *probabilidade* também aparece na descrição desse autor. Santos et al. (2005), sugerem, no capítulo dedicado à Cinética Química, que a expressão “velocidade de reação” seja substituída por “rapidez da reação”, uma vez que, segundo estes autores:

‘...[...] considerando que o conceito de velocidade é definido como a variação de espaço por unidade de tempo, preferimos adotar aqui a denominação rapidez, como já vem sendo recomendado em outros livros.’ (Santos et al., 2005, p. 391, volume único)

Com relação à Teoria das Colisões, estes autores, como a maioria dos citados acima, introduzem a expressão *probabilidade* apenas ao investigar os fatores interferentes na velocidade das reações:

“...[...] em termos de uma reação química, quanto maior o número de partículas dos reagentes, maior a probabilidade de choques entre elas e, conseqüentemente, mais rápida será a reação” (idem, p. 397, volume único)

Novais (1993), é quem mais se aproxima de uma abordagem baseada em evento probabilístico ao discutir em detalhes e relacionar os conceitos de colisão eficaz e choques aleatórios:

“No caso da reação de CO e NO₂, quanto maior o número de moléculas de CO por unidade de volume (concentração), maior a probabilidade de choques casuais com certo número de moléculas de NO.” (Novais, v. 02, 1993, p.183)

No início do capítulo do livro desta autora há uma ilustração mostrando uma mesa de bilhar. As bolas do jogo surgem em dois momentos: num deles há apenas duas bolas (uma vermelha e

outra preta), noutro existem diversas bolas (dez vermelhas e uma preta). No texto das figuras, tem-se que:

Imagine uma mesa de bilhar. Suponha que duas bolas, uma preta e uma vermelha, estejam sobre a mesa. Suponha agora que uma bola preta e dez vermelhas estejam sobre o feltro. Em qual das duas situações será mais fácil provocar o choque de uma bola preta com uma vermelha? Evidentemente, na segunda situação, em que o número de bolas vermelhas é maior, o que aumenta a *probabilidade* de choques. (idem, p. 182)

Dentre as obras investigadas, esta é, com toda certeza, aquela que mais informa e discute com o seu leitor as implicações e conseqüências dos colisões serem aleatórias. Em outros autores, como Feltre (1998), Nehmi (1996), Usberco & Salvador (2002), Utimura & Linguanoto (1998), Bianchi et al. (2005) e Trindade & Pugliese (1992), todos eles apresentados em volume único, não há menção de casualidade ou evento probabilístico relacionado às colisões no capítulo dedicado à *Cinética Química*. O mesmo ocorre em Silva et al. (2001), em seu volume 02, onde não estão presentes os indicativos que sugerem eventos aleatórios para as colisões entre as partículas dos reagentes ou as correlações existentes entre elas. Assim, em relação ao total de livros investigados, 13 títulos ao todo, podemos agrupá-los em três categorias:

- 1) a dos que *não* fazem referência ao fato das colisões inter-partículas serem aleatórias (*sete* deles ou 54%),
- 2) aquela em que os autores o fazem de maneira apenas *superficial* (*três* títulos ou 23%),
- 3) a categoria dos que discutem com maior *profundidade* a correlação entre a teoria das probabilidades e o modelo proposto pela Química para explicar os choques entre as partículas dos reagentes numa reação química (também *três* livros ou 23%).

Essas categorias podem ser visualizadas, de modo mais claro, na Tabela 01, mais adiante, nas próximas páginas. Os resultados desse pequeno levantamento implicam, necessariamente, numa crítica aos livros que não priorizam uma abordagem probabilística? Ou, em outras palavras, será que melhores resultados na aprendizagem e elaboração do modelo cinético de colisão de partículas em reações químicas têm relação com uma abordagem randômica? As respostas, talvez possamos indicá-las, ou mesmo uma direção a seguir, ao final desse trabalho.

Mas nossa hipótese de partida é que a utilização de elementos probabilísticos na interpretação das colisões entre partículas contribui de maneira significativa para auxiliar o estudante a compreender melhor e conseqüentemente modelar corretamente os conceitos ligados a este assunto.

AUTOR(ES)	ANO DA EDIÇÃO	Destaca aspectos “probabilísticos” da Teoria Cinética
Tito & Canto	2003	SIM
Covre	2000	PARCIALMENTE
Fonseca	2001	SIM
Lembo	1999	PARCIALMENTE
Santos et al.	2005	PARCIALMENTE
Novais	1993	SIM
Feltre	1998	NÃO
Nehmi	1996	NÃO
Usberco & Salvador	2002	NÃO
Utimura & Linguanoto	1998	NÃO
Bianchi et al.	2005	NÃO
Trindade et al.	1992	NÃO
Silva et al.	2001	NÃO

Tabela 01

(Categorização dos livros didático de Química para o Ensino Médio em relação à abordagem probabilística no Capítulo dedicado à *Cinética Química*)

1.3 A importância do ensino de Estatística e Probabilidade na Educação Básica (Ensino Fundamental e Médio)

A verdadeira e principal vocação da escola deveria ser, segundo muitos pesquisadores ligados à área de educação, e, principalmente à área de educação em ciências e matemática, o compromisso com a formação de cidadãos críticos que possam se inserir na realidade sócio-cultural contemporânea. A preparação dessa cidadania visa desenvolver no aluno habilidades para enfrentar desafios impostos por essa 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 & 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 destacam a impossibilidade de 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 modelam diretamente a realidade ou o fazem através 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 outro pesquisador, Rotunno (2002), a Matemática não deve ser apenas determinista. A

incerteza, a aleatoriedade e a estimativa são características fundamentais do mundo contemporâneo. O ensino da 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, onde a 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) têm, 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 et al (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 desprezada, esquecida e abandonada em um estado rudimentar de desenvolvimento. (Godino et al., 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 rigoroso raciocínio 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, p. 06, 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, portanto cabendo 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 fazer perguntas, estabelecer relações, construir justificativas e desenvolver 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 fazer previsões, que algumas noções de probabilidade sejam desenvolvidas. Assim os PCNs justificam o ensino da Probabilidade e da Estatística acenando para a necessidade do indivíduo

compreender as informações veiculadas, tomar decisões e fazer previsões que influenciam sua vida pessoal e social. Mas, conforme Lopes & 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 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 ficar preso à limitação do conteúdo proposto para cada série (Lopes, 1998). Ainda em relação aos livros didáticos, Lopes & Moran (1999), afirmam que a maioria deles, no Ensino Fundamental, ao introduzir o conceito de chance, deixa a linguagem estocástica mais uma vez ausente por não se utilizar da palavra probabilidade. O conceito de Probabilidade quando citado vem, na grande maioria das vezes, em sua definição clássica, “*favoráveis sobre possíveis*”, sem menção às restrições de equiprobabilidade, e conjunto finito dos possíveis. A probabilidade de que um aluno tenha massa entre 50 kg e 60 kg, por exemplo, não pode ser calculada, pois o conjunto das massas possíveis é infinito e não enumerável. Do mesmo modo, a probabilidade de se obter cada uma das faces de uma ficha telefônica ao lançá-la seria obtida como $1/2$ pela aplicação do conceito clássico. Porém a assimetria da ficha (suas

faces têm superfícies distintas) não cumpre a restrição de equiprobabilidade. Nos dois casos, conforme Lopes & Moran (1999), a definição frequentista, “*número de ocorrências do evento sobre número total de repetições*”, deveria ser o preferido, pois possibilitaria remover as duas restrições. Os eventos não precisam ser equiprováveis e o espaço amostral não precisa ser finito. Conforme Hurtado & Costa (1999), os livros didáticos deveriam também minimizar a utilização da definição axiomática e propor mais experimentação e observação, evidenciando as idéias probabilísticas. Dessa forma, os conceitos teriam mais significados e poder-se-ia trabalhar com maior profundidade a classificação dos eventos aleatórios: possível, impossível, provável, muito provável, pouco provável e certo (exato). Ainda em relação aos livros, na maioria das vezes, aqueles destinados ao Ensino Médio não abordam os conceitos básicos de amostra probabilística e não-probabilística. Lopes e Moran (1999) reforçam, sobretudo em relação ao Ensino Fundamental, a necessidade urgente de se repensar cuidadosamente o ensino da *Estocástica*, tanto no que se refere à formação dos professores, quanto da elaboração de melhores livros didáticos e para-didáticos.

1.4 O ensino de Probabilidade e seus obstáculos epistemológicos

No uso pedagógico da história, um conceito que se faz central é o de “*obstáculo epistemológico*”. Conforme Bachelard (1983), no desenvolvimento da ciência existe um processo de crise entre a aceitação de uma teoria e outra. Em tais ocasiões ocorrem lentidões e conflitos, estagnação e até regressão, como ocorreu com a idéia de aleatoriedade. Ela foi um obstáculo epistemológico à idéia determinística fundada principalmente em crenças religiosas, isto é, a idéia de aleatoriedade era frontalmente contra um conhecimento anterior estabelecido a partir da crença de que o mundo funcionava como uma máquina, no qual todos os fenômenos já haviam sido previstos anteriormente pelo Criador. A matemática foi

então considerada a linguagem capaz de descrever esse mundo determinístico (Pamplona, 2005). De certa forma, segundo este pesquisador, durante boa parte do curso de matemática no ciclo básico (Ensino Fundamental e Médio), o aluno conserva essa idéia, da descrição matemática de fenômenos determinísticos, até que se defronta com as noções de Probabilidade e Estatística. Ocorre então, muitas vezes, algo semelhante ao obstáculo epistemológico, ou seja, a não compreensão dos conceitos que lhe são apresentados, o que é chamado então de “*obstáculo pedagógico*” (Pamplona, p. 06, 2005). Tal como no caso dos obstáculos epistemológicos, quando do surgimento de obstáculos à aprendizagem, existe a oposição entre a perspectiva continuísta da ciência e a perspectiva descontínua, na qual a ciência é construída por retificações, revoluções, interrupções e principalmente, de rupturas com conhecimentos prévios (Bachelard, 1983). Segundo a perspectiva continuísta, Bachelard (idem, 1983) afirma que o professor apresenta a ciência como uma seqüência lógica, linear, em que o conhecimento surge de outro conhecimento de uma forma natural e tranqüila. Por outro lado, frente a um professor que tenha uma visão de ocorrência das rupturas e dos obstáculos à construção da ciência, o estudante corre o risco de não acompanhar o raciocínio do mestre se não conseguir romper com suas próprias idéias anteriores. Assim, o aluno passa por um processo semelhante àquele sofrido pela própria ciência e sua evolução. Em outra de suas obras, Bachelard (1996), afirma:

Na educação, a noção de *obstáculo pedagógico* também é desconhecida. Acho surpreendente que os professores de ciências, mais do que os outros se possível fosse, não compreendam que alguém não compreenda. Poucos são os que se detiveram na psicologia do erro, da ignorância, da reflexão [...] os professores de ciências imaginam que o espírito começa como uma aula, que é sempre possível reconstruir uma cultura falha pela simples repetição da lição, que se pode fazer entender uma demonstração apenas repetindo-a ponto por ponto [...] (Bachelard, 1996, p.23)

Na área de educação matemática e ciências já foram feitas diversas pesquisas que buscaram identificar os principais obstáculos epistemológicos ao ensino de Probabilidades e

Estatística. Podemos citar aqui, entre outras, algumas em língua portuguesa como as de Coutinho et al. (2004), Lopes (1998), Lopes et al. (1999), Rotunno et al. (2002), Hurtado & Costa (1999), Lopes & Moran (1999), Pamplona (2002) e Fernandes (1999). E também em língua estrangeira, como Jun (2000), Lecoutre (1992), Fischbein (1975), Godino et al. (2006), Batanero (2004), Piaget & Inhelder (1975) e Green (1978). Em quase todas elas, percebe-se que o discurso, a fraseologia utilizada, assim como a significação dos termos empregados (*evento, espaço amostral, chance, aleatório, provável, possível, exato, etc.*) fazem parte dos obstáculos pedagógicos citados acima. Outro desses obstáculos é a aprendizagem de conceitos *contra-intuitivos*, como por exemplo a confusa relação que os estudantes tendem a estabelecer entre a noção de evento *certo* (exato) e a noção de evento *exclusivo*. Confusão também entre múltiplas possibilidades de resultado para um evento *certo* (exato) e para um evento *possível* (Jun, 2000).

1.5 Diferentes abordagens do conceito de probabilidade

De acordo com Fernandes (1999), o conceito de probabilidade apresenta caráter multifacetado e pode ser visto de diferentes perspectivas. De acordo com Fernandes, citando Hacking (1975), ao longo do tempo, esse conceito tem assumido um caráter essencialmente duplo: por um lado, a probabilidade é “*estatística*” na medida em que se liga com leis estocásticas de processos aleatórios (ponto de vista objetivista) e, por outro, é “*epistemológica*” na medida em que avalia graus de crença em proposições desprovidas de fundamento estatístico (ponto de vista subjetivista). Hawkins & Kapadia (1984) e Orton (1988) distinguem quatro conceitos de probabilidade:

- (1) o conceito clássico,
- (2) o conceito freqüentista ou empírico,

- (3) o conceito subjetivista,
- (4) o conceito axiomático ou formal.

Numa classificação ligeiramente diferente, Borovcnik et al. (1991) distinguem também quatro conceitos de probabilidade:

- (1) o conceito clássico,
- (2) o conceito freqüentista ou empírico,
- (3) o conceito subjetivista,
- (4) o conceito estrutural.

Para Fernandes (1999), enquanto os conceitos clássico, freqüentista e subjetivista coincidem nas várias classificações, na classificação de Borovcnik et al., o conceito estrutural engloba a axiomatização do ponto de vista objetivista e subjetivista. A seguir, apresentamos com mais detalhes, as análises de cada um dos diferentes conceitos de probabilidade segundo Borovcnik et al. (1991).

1.5.1. Conceito clássico

Nesta perspectiva, atribuem-se probabilidades a acontecimentos com base na definição clássica de probabilidade, devida a Laplace. Assim, a probabilidade de um acontecimento, é igual à fração de acontecimentos elementares favoráveis em relação aos acontecimentos possíveis, dentro de um espaço amostral (Fernandes, 1999). Nesta definição de probabilidade assume-se implicitamente a equiprobabilidade de todos os acontecimentos elementares do espaço amostral e constitui uma abordagem *a priori* da probabilidade, pois calculam-se probabilidades antes da realização de qualquer experiência física. Naturalmente, o pressuposto da igual probabilidade dos acontecimentos elementares revela o caráter circular desta definição de probabilidade. No sentido de evitar esta circularidade, Laplace instituiu

como critério o “*princípio da insuficiente razão*”, princípio algo obscuro, que permitia afirmar a equiprobabilidade desde que não existissem razões para acreditar que um ou mais acontecimentos seriam mais prováveis de obter em relação aos demais. Para Falk (1992), noções como o “*princípio da insuficiente razão*”, o “*princípio da igual ignorância*” e o “*princípio da indiferença*” podiam refletir uma preferência básica pela simetria ou pela equidade. Em contextos práticos somos confrontados com o problema de decidir quais são os acontecimentos elementares que são igualmente prováveis. Nestas situações, a simetria da experiência física e a adoção do *princípio da insuficiente razão* constituem orientações instáveis que podem nos ajudar muito. Porém, a dificuldade não é resolvida, pois uma mesma experiência física pode revelar diferentes simetrias. Para Hawkins & Kapadia (1984), a concepção errada de que no lançamento de um dado é mais difícil obter o número 6 do que qualquer outro número, desenvolvida nos jogos de *sorte e azar* que estabelecem a obtenção do número 6 como condição para o jogador começar a jogar, dificilmente é vencida dizendo-se simplesmente à criança que a probabilidade de obter qualquer face do dado é $1/6$. Na verdade, esta concepção, consolidada pelo fato de algumas vezes o jogador ter de esperar muito tempo até lhe sair o número 6, pode ser questionada e ultrapassada mais eficazmente através de uma abordagem freqüentista ou subjetivista. Estas abordagens mantêm-se ainda eficazes para outras concepções alternativas na aprendizagem de probabilidade.

1.5.2 Conceito freqüentista ou empírico

No conceito freqüentista ou empírico, a probabilidade de um acontecimento resulta da freqüência relativa observada desse acontecimento em experiências repetidas. Este procedimento não permite obter a probabilidade exata do acontecimento, mas apenas sua estimativa. Naturalmente nesta perspectiva, face a uma abordagem da probabilidade *a*

posteriori, atribuem-se as probabilidades depois das experiências terem se realizado. A probabilidade é atribuída a um acontecimento individual inserido num coletivo, que é uma classe infinita de acontecimentos “semelhantes” que se assume terem certas propriedades “aleatórias”. Então, a probabilidade é o limite para que tende a frequência relativa. Para Borovcnik, Bentz e Kapadia (1991) a aplicação prática desta definição de probabilidade envolve também dificuldades, tal como a definição clássica. Uma das dificuldades resulta da possibilidade de inserir um acontecimento individual em diferentes coletivos, não garantindo o mesmo limite para a frequência relativa. Outra, advém da dificuldade em definir o que se entende por “semelhante” e por “aleatório”. Matalon (1980) adota um critério de objetividade mais restrito, ao identificar a escola “objetivista” com a escola “frequentista”. Assim, não se referindo à escola axiomática, fundada por Kolmogorov, e ao acusar a escola clássica de circularidade, para Matalon não tem qualquer sentido falar da probabilidade de um acontecimento por natureza único. Além da limitação inerente à perspectiva frequentista para lidar com situações em que não se pode repetir a experiência, referida por Matalon, Hawkins e Kapadia (1984) destacam ainda as dificuldades inerentes ao infinito e a necessidade de distinguir a probabilidade teórica da probabilidade prática.

1.5.3. Conceito subjetivista

Enquanto nas duas perspectivas anteriores as probabilidades são propriedades do mundo real que nos rodeia, na perspectiva subjetivista, também designada por personalista, as probabilidades são avaliações de situações de incerteza inerentes à mente do sujeito. Passa-se, assim, de uma avaliação exterior ao sujeito para uma avaliação centrada no sujeito. Neste sentido, as perspectivas clássica e frequentista são referidas como interpretações objetivistas de probabilidade. Nesta perspectiva, a atribuição de probabilidades baseia-se na assunção

básica de que os sujeitos têm as suas próprias probabilidades que resultam de um padrão implícito de preferência entre decisões. Num contexto de jogos de sorte-azar, a probabilidade de um acontecimento pode ser determinada pelos riscos que uma pessoa está disposta a correr ao fazer uma aposta na sua ocorrência. Assim, para um ganho fixo, quanto mais elevada for a parada que o jogador está disposto a arriscar maior será a sua confiança na realização do acontecimento. Muito embora as pessoas possam diferir nos riscos que aceitariam correr, tal não constitui problema, dado que o sujeito segue regras básicas de coerência e consistência. As duas categorias de informação que um subjetivista considera, a informação prévia e os dados empíricos que equivalem a frequências em provas repetidas, são combinadas na fórmula de Bayes para obter uma nova probabilidade do acontecimento em questão, consubstanciando o conceito de “aprendizagem a partir da experiência” (Hawkins & Kapadia, 1984). No caso da concepção errada de que é mais difícil obter o número 6 do que qualquer outro número no lançamento de um dado, Hawkins & Kapadia (1984) assinalam que 100 lançamentos do dado, em que a criança é forçada a apostar, devem constituir um meio de dissuadir a criança a abandonar tal concepção. Nesta abordagem, diferentemente da abordagem frequentista, o recurso a idéias subjetivas permite alterar e atualizar uma probabilidade desde que seja adquirida nova informação. Segundo Borovcnik, Bentz & Kapadia (1991), as duas maiores dificuldades inerentes à abordagem subjetivista resultam da pretensão em traduzir qualquer situação de incerteza por uma probabilidade e da falta de orientação para medir as probabilidades prévias. Além disso, Hawkins e Kapadia (1984) salientam as dificuldades pedagógicas no ensino da fórmula de Bayes, particularmente em crianças muito novas.

1.5.4 Conceito estrutural

A probabilidade formal é um conceito definido implicitamente por um sistema de axiomas e um conjunto de definições e teoremas deduzidos daqueles axiomas. Esta abordagem estrutural não esclarece a própria natureza da probabilidade, apesar de os teoremas deduzidos constituírem um indicador de possíveis interpretações. A perspectiva estrutural pode ser vista como constituída de uma estrutura teórica para as duas principais concepções de probabilidade: a posição objetivista e a posição subjetivista. No primeiro caso, os axiomas de Kolmogorov são usualmente vistos como justificação da posição objetivista. No segundo caso, os axiomas sobre o comportamento racional no ato de apostar, como coerência e consistência, fornecem regras para as probabilidades, as quais devem obedecer aos axiomas de Kolmogorov e suas conseqüências (Hawkins & Kapadia, 1984). Segundo Matalon (1980), deve-se a Savage a definição mais completa do comportamento racional. Para tal, Savage caracteriza as escolhas do indivíduo racional através de sete axiomas, dos quais se apresentam dois a título de exemplo:

(A1) O indivíduo é capaz de ordenar completamente os atos segundo as preferências que tem por eles;

(A2) Também chamado o axioma da ‘coisa segura’, diz que se para cada estado da natureza o indivíduo prefere a conseqüência do ato *a* à do ato *b*, então ele continuará a preferir *a* à *b*, desde que ignore qual dos dois estados se produzirá. Para Borovcnik et al. (1991) a perspectiva estrutural não é útil na determinação de um valor para a probabilidade. Consequentemente, em qualquer caso de aplicação prática, tem-se que escolher uma interpretação subjetiva ou objetiva para determinar o modelo e a probabilidade inerentes à situação.

Capítulo 02

2.1 Os referenciais teóricos e a noção de “conceito”

Para Dongo Montoya (2001), citando Piaget, a respeito da interpretação que este fazia acerca da comparação entre a pesquisa psicológica e a pedagogia:

(...) todo educador deveria conhecer não apenas as matérias a ensinar, mas igualmente os mecanismos subjacentes às operações da inteligência e, por isso mesmo, as diferentes maneiras de ensinar. (Dongo Montoya, 2001, p.18)

É por concordar plena e completamente com esta premissa que nosso trabalho se insere numa perspectiva de procurar por possíveis contribuições para o ensino de ciências, particularmente o de Química, ao fazer análise e reflexão sobre a maneira como estudantes do Ensino Médio se apropriam de certos 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 principalmente nos estudos realizados por Piaget (1975, 1977), Piaget & Inhelder (1975), Jun (2000) e Fischbein (1975), que investigaram a relação da criança, do jovem e do adolescente com a “*estocástica*” (palavra de origem européia que designa a junção do campo de atuação da estatística e da probabilidade).

Em primeiro lugar, gostaríamos de definir o significado de “conceito”. É bastante freqüente, no meio escolar, nós professores, nos depararmos com colegas proferindo frases desiludidas como:

- *Eles não têm o conceito.*
- *Eu dei o conceito, mas eles não usam.*
- *Eles utilizam o conceito de forma errada.*

Mas, afinal, o que é um *conceito*? Ou, mais especificamente, o que é um conceito científico? Uma resposta completa deveria percorrer toda a história da filosofia, da própria ciência, da filosofia da ciência, etc. Todavia, apenas para iniciarmos uma reflexão, vamos utilizar uma abordagem concisa, dessas que são encontradas em dicionários e textos básicos de filosofia:

Um conceito é a expressão de uma idéia, mas ao contrário da generalidade desta, é abstrato e universal. O conceito é abstrato no sentido em que omite as diferenças entre os entes conceituados, retirando-lhes (abstraindo-lhes) o que é comum. É universal, pois não se aplica a um único ente, mas a uma classe ou idéia. O conceito de homem ou força, dessa forma, não se refere a um homem ou força em particular, mas a todos aqueles entes que submetem-se a esses conceitos. (Japiassu & Marcondes, 1996, p. 345).

Construir conceitos em geral, e os científico em particular, é tarefa árdua e demorada. Conceitos podem ser considerados “*portadores dos sentidos*”, mas apenas aos iniciados. Isto significa que para compreendermos satisfatoriamente um conceito temos que estar imersos no conjunto da linguagem da comunidade construtora do conceito; a dos físicos, dos químicos, biólogos, matemáticos ou qualquer outra. Além disso, essa linguagem deve fazer sentido, ser coerente internamente e também em relação a outros conceitos que estão a ela ligados. Para adquirir um conceito temos que construí-lo e reconstruí-lo sucessivamente e certas condições devem ser postas para que tais processos ocorram. Ainda assim, os conceitos acadêmicos sobre determinado tema mudam com o tempo, e, às vezes, são diferentes em diferentes comunidades contemporâneas. Para ilustrar, podemos citar o caso do físico e filósofo Thomas Kuhn, que perguntou a um físico que trabalhava com ciência molecular e a outro que operava na termodinâmica se um átomo isolado de hélio poderia ser considerado uma molécula. O primeiro afirmou que *não* e o segundo que *sim*. É fácil compreender, pois o primeiro pensou na ausência de espectro molecular e o segundo na obediência às leis termodinâmicas. E um sistema formado por átomos de hélio é mais comportado termodinamicamente que qualquer outro. Desde o início do século XIX, a ciência ocidental tem-se esforçado para obter uma intercomunicação clara e homogênea (o processo de globalização é mais antigo do que se

pressupõe) dentro da comunidade científica. Com isso desenvolveram-se definições com aceitação internacional, papel que a IUPAC² desempenha na Química de forma bastante competente. Consultando o “*Compêndio de Terminologia*”, da IUPAC, temos a definição de molécula como:

“*Uma entidade eletricamente neutra consistindo de mais de um átomo ($n > 1$) etc.*”.

A contenda citada por Kuhn fica então resolvida, ao menos em termos de denominações comuns (IUPAC, 2007). Mas, um dos erros mais banais em que incorremos em sala de aula, é considerar que a apreensão de um conceito depende apenas da definição. A definição é a especificação de um conceito através de uma expressão. Adaptamos o trecho a seguir de uma discussão filosófica articulada por Japiassu & Marcondes, em seu “Dicionário básico de Filosofia” (1996, p.123-124):

Pegemos por exemplo o caso de “*homem adulto que nunca casou*” como sendo a definição do conceito de “*solteiro*”. Podemos comparar a definição a uma rede que lançamos na tentativa de capturar determinados peixes (entes), mas que pode nos render mais ou menos do que esperávamos. Se substituirmos a definição anterior por “*homem não casado*”, pescaremos também crianças do sexo masculino, viúvos e divorciados. Se fecharmos a rede demasiadamente, com “*homem adulto que nunca casou e vive só*”, deixaremos escapar aqueles que vivem ainda com pais, irmãos etc. Na visão de Aristóteles, a definição comporta gênero (que confere proximidade) e diferença (que inclui a especificidade). No exemplo: “*solteiro: homem adulto que nunca casou*”, as palavras *homem* e *adulto* incluem todos aqueles classificados nesses gêneros, enquanto a expressão “*que nunca casou*” especifica determinadas características. Inicia-se, portanto, com uma inclusão de um grande número de coisas, para depois se operar uma exclusão daquelas que não possuem tais e tais especificidades.

Na ciência, as definições incluem sentenças lógicas e fórmulas matemáticas, além de enunciados textuais. Na educação científica como em outras áreas do conhecimento, temos a sensação de que a apresentação de uma definição de forma clara (para nós!), suficientemente inclusiva (gênero) e exclusiva (especificidade), além de fórmulas e sentenças lógicas, faz com que os alunos dominem imediatamente o conceito. Mas isso raramente ocorre. A origem dessa nossa ilusão está nas concepções empiristas e inatistas que, subjacente à nossa mente, surgem sem que delas nos demos conta, quando não estamos muito atentos à nossa fala em sala de

² International Union of Pure and Applied Chemistry [União Internacional de Química Pura e Aplicada]

aula (Mortimer, 2000). “*Eles não usam o conceito*” evoca as idéias que estão lá, na mente dos alunos, mas que eles não conseguem buscar. “*Eu dei o conceito*” transpira empirismo e soa como se o aluno fosse uma “tábula rasa” que grava as informações de forma passiva, pelo simples fato de serem apresentados a ele. Conceitos são *construtos* mentais e a psicologia do desenvolvimento nos fornece vários caminhos (que, na verdade *não* são receitas precisas), como aquelas de Piaget e Vygotsky. Para Vygotsky (2003), as funções psicológicas superiores são desenvolvidas através de processos dialéticos complexos, junto à aprendizagem. A aprendizagem é responsável pelo desenvolvimento e este abre condições para novas aprendizagens. Para Piaget, as informações são assimiladas aos esquemas que o indivíduo possui e esses esquemas acomodam-se (modificam-se) às informações. Esse processo, denominado *equilibração*, desenvolve a capacidade cognitiva do indivíduo para produzir esquemas mais abrangentes. Do ponto de vista da psicologia evolutiva, portanto, não há oposição entre aprendizagem e cognição. Ao contrário, são processos absolutamente interligados. Para que os conceitos e as definições cumpram seu papel na formação humana e científica do aluno, é necessário que sejam desenvolvidos e inseridos de tal forma que se comprometam com duas ações:

- Refletir da melhor forma possível o estágio de desenvolvimento da ciência contemporânea. Sem isso, teremos aquele “*resquício de século XIX*” que muitos textos didáticos de Química possuem ainda hoje (principalmente no Brasil), por mais que estejam disfarçados com ilustrações computadorizadas ou inserções sobre a tecnologia contemporânea.
- Respeitar o desenvolvimento cognitivo e lógico do aprendiz, mesmo que para isso seja necessário operar inicialmente, sem definições muito precisas, mas de forma a percorrer, no

decorrer do processo, o interior do conceito, até chegar à elaboração melhor, mais atual, mais completa, quando então poderá ser explicitado com definições mais precisas.

O problema é que nós professores, segundo Justi & Monteiro (2000), damos ênfase exagerada à definição, com a ilusão de que todo o conhecimento esteja encerrado e possa ser extraído daquelas palavras ou fórmulas e por qualquer indivíduo, independentemente de seu grau de desenvolvimento. É inútil tentar fornecer a “definição correta” de determinado ente, pelo simples fato de que tal definição, não existe em si. Foi construída historicamente e deverá ser reconstruída pelo indivíduo, iniciando-se, muitas vezes, sem o rigor que os livros didáticos atuais atribuem a certas definições. E, por fim, temos que estar muito atentos à linguagem. É muito importante ter em mente que a construção de um conceito acadêmico (científico ou não) parte dos seguintes aspectos constitutivos, conforme Mortimer (2000):

- Saber a definição por fórmula e enunciado.
- Interpretar as simbologias e linguagens utilizadas de forma significativa, isto é, dentro dos demais conceitos sob os quais se organizaram tais simbologias e linguagens.
- Ter informações sobre o panorama histórico-social durante o desenvolvimento do conceito.
- Realizar experimentos ou outras atividades vivenciais pertinentes.
- Saber como o conceito relaciona-se ao ambiente e ao cotidiano do aluno.
- Saber relacioná-lo com os demais conceitos dentro da respectiva área do conhecimento.
- Saber relacioná-lo com conceitos de outras áreas do conhecimento.

Para outros pesquisadores, como Fagundes (1977), conceito é um instrumento mental que nos serve para pensar as diversas realidades, representando-as no nosso espírito. Por ele nós pensamos um conjunto de propriedades (formando a sua compreensão) como realizadas num conjunto de objetos (constituindo a sua extensão). O conceito reúne as características comuns ao conjunto de seres da mesma espécie, distinguindo-os dos seres constitutivos de

outra(s) espécie(s). Enquanto representação mental, o conceito distingue-se do termo, a sua expressão verbal. Assim, o conceito de ser humano (animal racional) pode ser expresso pelos termos homem, hombre, homme... etc.

2.1.1 A formação de “conceitos” na visão de Piaget

Sobre a concepção de Piaget (1975, 1977) acerca de “*conceito*”, pode-se dizer que:

- sua essência é o princípio de identidade e conservação que assegura a permanência dos objetos no pensamento e na ação;
- sua maior função é a discriminação entre o aparente e o real, a diferenciação dentro do próprio objeto,
- seu conteúdo é intensivo, correspondendo às propriedades que permanecem imutáveis, através das várias transformações no objeto.

De acordo com Piaget, a formação do conceito não ocorre em nível de mera discriminação, no sentido de separar coisas, mas envolve processamento mais extenso ligado à lógica. A função de classificação é encontrada em todos os níveis de organização das estruturas cognitivas, com semelhanças remarcáveis entre as organizações cognitivas e as biológicas (Piaget, 1967, p. 190). A construção do conceito é explicada em diferentes níveis reconstitutivos de organização, por dois tipos de abstração: *reflexiva* ou *lógico-matemática* e *física* ou *empírica*. Ainda segundo Piaget (1978), a *percepção* desempenha papel essencial na construção do conhecimento, mas depende da ação espontânea da criança de reunir e de separar. O autor distingue percepção da atividade perceptiva: a percepção como estado ocorre em cada momento e a atividade perceptiva, como processo de aprendizagem. Piaget justifica essa separação (percepção da conceituação) afirmando que o sujeito é um operante

em ativa interação com o meio e a percepção é constantemente informada por processos intelectuais superiores. O sujeito já possui uma organização funcional endógena (reflexos associados às necessidades básicas do organismo), com futuras estruturas construídas por atividades, que prolongam e aumentam as adaptações elementares.

Em seu livro “*A Formação do símbolo na criança*” (1975b), Piaget dedica boa parte dos capítulos, na terceira parte da obra, a discussões sobre a passagem dos esquemas sensório-motores para os esquemas conceituais na criança. Segundo ele, citando outros autores, a passagem da inteligência sensório-motora para a inteligência conceitual explica-se pela intervenção da vida social e dos quadros lógicos e representativos já prontos no sistema de signos e de representações coletivas. Existe então, para Wallon, citado por Piaget (1975b, p. 277), uma oposição radical entre a “*inteligência das situações*”, que atua sobre o real, sem recurso ao pensamento, e a “*representação*”, que se explica pela influência da fala, do mito e da vida coletiva em geral. Para Piaget (1975b), os primeiros esquemas verbais são intermediários entre os esquemas de inteligência sensório-motora e os esquemas conceituais, assim como os esquemas simbólicos são mediadores entre os jogos de exercício e os símbolos lúdicos desligados da própria ação. Assim também, a “*imitação diferida*”³ é intermediária entre a “*imitação sensório-motora*” (quando o bebê imita o bater palmas de um adulto, por exemplo) e a “*imitação representativa*” (quando a criança imita o gesto de um adulto de abrir um armário à procura de guloseimas, horas após o adulto tê-lo feito). A característica principal da imitação representativa (dos 2 aos 7 anos), em contraste com a imitação sensório-motora (0 aos 2 anos), é que, na primeira, a representação figurada (possível através da função semiótica) precede a sua cópia. Já durante a fase sensório-motora não existem imagens mentais. Portanto, ainda conforme Piaget (1975b), nessa fase representativa, as palavras utilizadas pela criança para designar esses esquemas são, elas

³ A imitação diferida, segundo Piaget (1975b), não requer, necessariamente, a intervenção de representações conceituais nem de signos, já que existem símbolos tais como a imagem, a lembrança da evocação, o objeto simbólico, etc., inerentes aos mecanismos individuais de pensamento.

próprias, intermediárias entre significantes simbólicos ou imitativos e signos verdadeiros (que são convenções socialmente aceitas). No nível das operações lógico-concretas (dos 7 aos 8-9 anos), os conceitos, para Piaget (1975) são:

[...] ora sistemas de classes, e, portanto conjuntos de objetos agrupados segundo relações de encaixes hierárquicos (parte e todo), ora sistemas de relações particulares agrupadas segundo sua natureza assimétrica ou simétrica. Importante ainda, lembrar que as relações em jogo são definidas segundo as qualidades dos objetos agrupados, objetos esses que podem englobar o próprio EU, as relações entre o EU e os objetos ou as ações do EU, sempre respeitando, na construção das classes e das relações, os encaixes hierárquicos, as assimetrias e as reciprocidades [...] (Piaget, 1975, p. 281)

Outro ponto importante, para Piaget, são as generalizações, pois, a partir do período pré-operatório, as crianças tendem fazer da linguagem um instrumento para a construção de pré-conceitos:

[...] a primeira questão consiste em saber como, desta linguagem ligada ao ato imediato e presente, a criança passa à construção de representações verbais propriamente ditas, isto é, de juízos de constatação e não mais apenas juízos de ação [...] a palavra começa então a funcionar como signo, isto é, não mais como simples parte do ato, mas como evocação deste [...] o pré-conceito, ou seja, a primeira forma de pensamento conceitual que se superpõe, graças à linguagem, aos esquemas sensório-motores, é, com efeito, um quadro de noção que não atinge nem a generalidade nem a individualidade verdadeiras [...] (Piaget, 1975, p. 285-286, 358)

Para Piaget, a partir da apropriação da linguagem (e das outras formas de representação), e, principalmente, da combinação da linguagem com os esquemas mentais construídos, tem início a representação conceitual na narração, ou seja, o emprego (entre 2 e 4 anos) dos esquemas verbais que se aproximam muito daquilo que virão a ser mais tarde os conceitos propriamente ditos (os operatórios).

2.1.2 A noção de “conceito” na área de Educação em Ciências

O grande físico Albert Einstein, citado por Chassot (2003), teria afirmado numa de suas obras (de 1948), comentando acerca de conceitos:

Os conceitos científicos são livres criações do espírito humano e não são, como se poderia acreditar, determinados pelo mundo exterior. No esforço que fazemos para compreender o mundo, assemelhamo-nos um pouco ao homem que tenta entender o mecanismo de um relógio fechado. Ele vê o mostrador e os ponteiros em movimento, ouve o tique-taque, mas não tem como abrir o estojo. Se for engenhoso, poderá formar alguma imagem do mecanismo que ele tornará responsável por tudo que observa, mas nunca estará seguro que sua imagem seja a única capaz de explicar suas observações. Nunca estará em condições de comparar a sua imagem com o mecanismo real, e nem mesmo se pode representar a possibilidade e o significado de uma tal comparação. (Chassot, 2003, p. 249)

O estudo da formação de conceitos em ciências, por sua vez, já foi investigado por Mortimer (2000), que enxerga a sala de aula como um espaço de enculturação⁴ no qual o papel do professor ganha contornos mais amplos, para além daquele de monitorar um processo de desequilíbrio-reequilíbrio:

Ele desempenha um enorme rol de outras funções: explicitar a agenda, explicitar os obstáculos epistemológicos e ontológicos, chamando a atenção para como eles contradizem as características dos conceitos científicos a serem aprendidos; generalizar as novas idéias e dar ao estudante a oportunidade de generalizá-las por si próprio; chamar a atenção dos estudantes para que reflitam sobre suas próprias idéias e compará-las com as idéias científicas; estar atento, constantemente, ao desenvolvimento das idéias em sala de aula. (Mortimer, 2000, p.267)

A prática de sala de aula, ainda de acordo com Mortimer (2000), contribui para o aumento da consciência do estudante sobre suas concepções mas não consegue dar o salto esperado em direção aos conceitos científicos. A maioria das estratégias de ensino baseada em perspectivas construtivistas parecem desconhecer que aprender ciências envolve a iniciação dos estudantes em uma nova maneira de pensar e explicar o mundo natural, que é

⁴ O termo “*enculturação*”, segundo Mortimer (2000), não existe em língua portuguesa e expressa o processo pelo qual uma pessoa entra numa cultura diferente da sua, adquirindo, por exemplo, os conceitos, a linguagem e certas práticas da cultura científica.

fundamentalmente diferente daquelas disponíveis no senso-comum. Aprender ciências envolve um processo de socialização das práticas da comunidade científica e de suas formas particulares de pensar e de ver o mundo. Sem as representações simbólicas próprias da cultura científica, o estudante muitas vezes se mostra incapaz de perceber, nos fenômenos, aquilo que o professor deseja que ele perceba. Além disso, essas propostas não conseguem tirar todas as conseqüências da teoria que parece inspirá-las. Apesar de a maioria das estratégias de ensino que usam o conflito cognitivo no processo de ensino-aprendizagem ter uma raiz piagetiana, elas parecem desconhecer duas características importantes da teoria da equilibração (Piaget, 1977). A primeira é que as lacunas são tão importantes quanto os conflitos. São poucos os pesquisadores (por exemplo, Rowell, 1989) que se referem às lacunas como um tipo de perturbação. Várias estratégias baseadas no conflito cognitivo parecem não reconhecer que, muitas vezes, no processo de construção de uma idéia nova, a falta de informações para interpretar os resultados de um experimento é obstáculo maior que o conflito entre as idéias dos estudantes e os resultados. A segunda característica é relacionada à terceira forma de equilibração da teoria piagetiana. Muitas dificuldades no processo de aprendizagem estão relacionadas à construção de totalidades, com forte poder de explicação, que podem ser generalizadas a um grande número de fenômenos. Muitas vezes o estudante permanece no plano dos esquemas, "procedimentos e rituais" (Edwards & Mercer, 1987) e não passa para o plano superior dos princípios, das explicações. Em função disso, o aluno não tenta generalizar essas explicações a fenômenos diversos, pois não as reconhece como gerais e sim como mais um esquema localizado. Essas dificuldades estão relacionadas às diferenças entre uma teoria científica, geral e independente do contexto e os esquemas e subsistemas cotidianos, nem sempre gerais e muitas vezes dependentes do contexto. Uma estratégia de ensino deveria lidar com essa terceira forma de equilibração e auxiliar os estudantes a superarem suas dificuldades em generalizar. Para pesquisadores como Machado

& Moura (1995), partindo-se dos resultados das pesquisas na área de ensino de química, o processo de elaboração de conceitos em sala de aula é extremamente complexo e envolve uma série de fatores difíceis de se ter sob controle. Por conta dessa complexidade é que, segundo eles, os olhares dos pesquisadores estão voltados, quase sempre, para contribuições de outras áreas do conhecimento como a psicologia, a filosofia, a sociologia e a lingüística, que podem auxiliar na compreensão de como os conceitos químicos são elaborados pelos alunos nesse processo, fundamentalmente social, de se apropriar do conhecimento disponível no contexto escolar.

2.2 Uma revisão da literatura sobre o tema “Cinética Química”

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. Nosso objetivo inicial consistiu em verificar o nível de elaboração conceitual e de construção de modelos acerca da Teoria das Colisões. Imaginávamos ser possível relacionar as dificuldades de aprendizagem e as lacunas conceituais com a ausência de noções probabilísticas, ou mesmo com o não entendimento da teoria das probabilidades, que normalmente é ensinada aos alunos do Ensino Médio na segunda série. Os conceitos relacionados com cinética química também são estudados usualmente na segunda série ou, dependendo da grade curricular da escola, na terceira. Para garantir que os sujeitos de nossa pesquisa já tivessem tomado contato com ambos os conteúdos, escolhemos alunos da terceira série para a investigação. Em nosso levantamento bibliográfico encontramos alguns trabalhos relacionados ao ensino de “*Cinética Química*” no Ensino Médio, como o de Justi & 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. (Dinessa, 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 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 passa, em nossa opinião, mas carece de investigação mais acurada, pela falta de relação com a teoria das probabilidades e pela ausência da percepção/conceituação de que os choques são aleatórios e casuais num espaço tridimensional, pois inclusive muito alunos representaram as moléculas “planas” e colidindo numa única dimensão. Já o trabalho de Greca & 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 principalmente 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, p. 53). 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 lingüísticos, a modelação, a interpretação microscópica de fenômenos observáveis, está muito ligada à representação pictórica, representação esta sem contrapartida na Física. Estas representações pictóricas, convertidas no sistema de signos, fundamental para a modelação, 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 logros parciais na generalização matemática para algumas classes de substâncias. De maneira que 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. (Greca & Santos, 2005, p. 05)

Entretanto, em salas de aula de Química, devido à sua complexidade 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 & Santos (2005), as entidades (átomos, moléculas, íons) são tomadas como entidades reais, ou mesmo realizáveis, sendo seus comportamentos considerados similares ao comportamento dos objetos materiais macroscópicos. Durante praticamente todo o Ensino Médio esse tipo de modelagem é utilizada, focado muito mais em representações tipicamente pictóricas que matemáticas, dentro da Química, e daí talvez a dificuldade dos alunos em estabelecer a relação entre a visão micro e macroscópica dos fenômenos. Lima et al. (2000) procuraram estabelecer relações entre o baixo aproveitamento no aprendizado de cinética e a não-contextualização da química. Estas autoras consideram que, especificamente no ensino de

cinética, na maioria das vezes baseada em aulas expositivas, não se leva em conta nem os conhecimentos prévios nem o cotidiano dos alunos. Em sua pesquisa observaram como a contextualização (através 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 & 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 a interpretação submicroscópicas 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 estas autoras, estes 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 sofrer colisão, e moléculas mais “frias”, que dificilmente colidem). Mortimer (1995), num de seus trabalhos, sobre o que pensam os alunos acerca das reações químicas, aponta as dificuldades deles 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 perceptíveis, como por exemplo, as reações que envolvem gases. Segundo este autor, no ensino de química no nível médio há uma certa insistência dos professores em relegar a segundo plano o estudo microscópico do fenômeno, priorizando-se a representação do mesmo (através 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 Mortimer, antes de se representar as reações químicas através 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 do Ensino Médio). A vantagem de se utilizar esse tipo de abordagem, segundo este autor, é que só se passa a representar as reações por equações depois que se tem uma boa compreensão dos fenômenos envolvidos nas transformações químicas. Nesse sentido, as equações passam a simbolizar algo que os estudantes sabem ser mais complexo, que ocorre num nível microscópico, com toda uma abordagem que aos poucos os estudantes vão tendo acesso, como a teoria das colisões, só para citar um exemplo. Sabadini & 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 utilizar 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 dessa função, a *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. Sabadini & Bianchi (2007), 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 mostram 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 da convivência com essas pesquisas, citadas nas linhas anteriores, pudemos então escolher em quais referências nos apoiar para estabelecer o vínculo teórico necessário à interpretação do fenômeno químico escolhido. E, sobretudo, saber como interpretar em nível de cognição e desenvolvimento, as intervenções e respostas

dos alunos pesquisados no que se refere ao conceito químico em si (cinética química), e também (principalmente) na utilização dos conceitos matemáticos (probabilidades).

2.3 Os referenciais teóricos e a formação do pensamento probabilístico

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 50 (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 de “*misconceptions*”⁵ acerca da Teoria das Probabilidades em crianças, jovens e adolescentes [veja por exemplo, Green (1978); Leake (1965); Kuzmak & Gelman (1986); Yost et al. (1962); Hoemann & Ross (1971); Goldberg (1966); Davies (1966); Ross (1966); Way (2003) e Paparistodemou et al. (2002)]. 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 20 anos, feita em Xangai, na China, na forma de tese de doutoramento (Jun, 2000). E, por fim, recorremos ao trabalho do pesquisador (psicólogo e matemático romeno) Efraim Fischbein (1975), que investigou as fontes intuitivas do pensamento probabilístico em crianças e jovens. De acordo com Piaget & 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, pode-se relacionar os seguintes estados de desenvolvimento cognitivo com o pensamento probabilístico:

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

- pré-operatório⁶ (2-4 a 7 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 (7 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 & 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.

Comentaremos então, a seguir, alguns aspectos dos três estágios do desenvolvimento da idéia de acaso propostos por Piaget & Inhelder (1975, p.213-236) em seu trabalho. Do ponto de vista da gênese das operações lógico-aritméticas elementares (agrupamento de classes e de relações, grupos de números inteiros e fracionários), podem-se distinguir três grandes períodos:

⁶ Alguns autores, estudiosos da obra de J. Piaget, subdividem o período “pré-operatório” em: simbólico (2-4 anos) e intuitivo (4 -7 anos).

- (1) Estágio I, que ocorre, em média, antes dos 7-8 anos;
- (2) Estágio II, que ocorre, em média, entre os 7-8 anos e os 11-12 anos;
- (3) Estágio III, com início, em média, a partir dos 11-12 anos e que se completa por volta dos 14-15 anos.

Estágio I (antes dos 7-8 anos). Durante o primeiro estágio, a criança não distingue o possível do necessário. O seu pensamento oscila entre o previsível e o imprevisível, nada sendo completamente previsível, em consequência da necessidade, nem seguramente imprevisível, em consequência do acaso. A não existência de qualquer diferenciação entre o possível e o necessário se justifica pelo fato de a criança não possuir uma idéia do acaso consistente nem tampouco as operações dedutivas. O imprevisto é concebido como uma expressão do capricho, da fantasia e do arbitrário, sendo interpretado de modo psicológico ou motivacional e não numa dimensão lógica ou física do não componível⁷ e do irreversível. Em consequência, para os autores, explica-se que a criança procure encontrar na desordem, que considera apenas aparente, uma ordem oculta qualquer baseada nas semelhanças dos elementos, dos seus arranjos antes da mistura, etc.; que não compreenda a irreversibilidade inerente aos processos fortuitos, a qual implica a não composição aditiva e a não dedutibilidade dos processos aleatórios; que faça previsões de casos fortuitos isolados com base em semelhanças, na ordem inicial, na maior frequência observada e na compensação, mantendo esta última um caráter subjetivo e egocêntrico; que não sinta a necessidade de simetria entre valores opostos, no caso de uma dispersão centrada num valor médio; que não associe um raciocínio indutivo aos julgamentos baseados na frequência, pois um raciocínio indutivo consiste precisamente em separar o que é regular do que é casual; que não se surpreenda com “*milagres*” que consistem na observação sistemática do mesmo resultado,

⁷ “*Não componível*” ou “*incomponível*” para Piaget é o que não mantém relações de nenhuma natureza.

em consequência do uso de fichas iguais dos dois lados ou da colocação de um ímã numa roleta; que não quantifique as probabilidades em virtude da ausência de encaixes operatórios; e que não exiba qualquer raciocínio relativo à dispersão com conjuntos de grandes números. Em resumo, o primeiro estágio se caracteriza de um modo geral, por intuições do “*real*” apresentando toda uma gama de variedades situadas entre a motivação e a não-motivação. As primeiras anunciam assim as operações dedutivas e as segundas as do acaso, porém elas permanecem desligadas umas das outras sob o ponto de vista de sua estrutura, por falta de qualquer construção operatória de encaixes lógicos. Assim, as principais características desse primeiro estágio constituem um todo homogêneo, explicável em todos os seus detalhes pelo nível pré-operatório da criança, bem como pela natureza não-diferenciada de suas intuições e pelo não-reconhecimento das ações em operações reversíveis.

Estágio II (7-8 aos 11-12 anos). No segundo estágio, a criança descobre o acaso a título de realidade incomponível e irreversível. Durante este período, as intuições espaço-temporais e lógico-aritméticas dão lugar a operações reversíveis e componíveis entre si, organizando-se em grupos ou agrupamentos bem definidos. É por antítese a estas operações que o acaso adquire uma significação de realidade incomponível e irreversível. A criança deste período é capaz de reunir A e A' sob a forma $A + A' = B$ e pensar em A e A' a partir das operações inversas: $A = B - A'$ e $A' = B - A$; compreende que a disjunção concreta: se x pertence a B , x pertence a A ou x pertence a A' , implica simultaneamente o necessário: x pertence a B , x pertence necessariamente a A ou a A' , e o possível, se x pertence a B , x pode pertencer a A , mas também é possível que pertença a A' ; dissocia o possível do necessário através da descoberta da indeterminação do acaso, por oposição à determinação operatória; avalia as várias possibilidades através de processos aditivos, isto é, por encaixes de classes parciais numa classe total; tem consciência do “milagre” e compreende globalmente a idéia de

mistura, a irreversibilidade dos mecanismos aleatórios, a compensação entre casos isolados e a simetria nas distribuições centralizadas, exceto para o caso dos conjuntos de grandes números. Neste estágio, os encaixes operatórios simples tornam possíveis todos os julgamentos de probabilidade baseados na relação entre o todo e a parte, desde que um desses termos permaneça imutável. As características desse segundo estágio formam também um todo organizado, inteiramente explicável pelo desenvolvimento operatório: o aparecimento das operações concretas dá conta da descoberta do acaso, por antítese com a necessidade dedutiva, enquanto a ausência de operações formais explica a falta de síntese entre o acaso e os mecanismos operatórios, sob a forma de uma sistema de composição probabilística.

Estágio III (11-12 aos 14-15 anos). No terceiro estágio, assiste-se à composição probabilística a partir da síntese do acaso e das operações dedutivas. Assim, o acaso é interpretado como se fosse, pelo menos em parte, componível e reversível, como se pudéssemos determiná-lo a partir de um sistema de operações incompletas e efetuadas sem ordem. Contribuem para uma tal interpretação, a composição probabilística, a intervenção do cálculo combinatório e as proporções. Agora, embora os casos isolados ou individuais sejam indeterminados ou imprevisíveis, o conjunto é determinável enquanto sistema de possibilidades múltiplas, consistindo a composição em ligar as partes (casos individuais reais) ao todo assim definido (conjunto dos casos possíveis). Durante este estágio, a composição probabilística caracteriza-se pela estruturação das totalidades, levando à lei dos grandes números, e pela probabilidade dos casos isolados em função do conjunto. Por um lado, esta composição probabilística respeita o caráter incomponível e irreversível do acaso, na medida em que as diferentes possibilidades só se realizam no limite dos grandes números, mantendo-se o acaso efetivo indeterminado em graus diversos. Por outro lado, as operações

combinatórias, que são componíveis e reversíveis, conferem à composição probabilística o caráter de uma determinação dedutiva das possibilidades como tais. Para Piaget o pensamento intuitivo é o tipo de pensamento que precede o formal, desenvolvendo-se, em consequência, durante o período pré-operatório. No caso do conceito de probabilidade, referindo-se ao segundo estágio, Piaget & Inhelder afirmam:

[...] as verdadeiras intuições de probabilidade só então começam, mais precisamente em função de uma síntese operatória que subordina a previsão isolada à consideração de um sistema de conjunto de frequências. A elaboração de um sistema de distribuições é, então, a condição psicológica prévia das intuições probabilísticas” (Piaget & Inhelder, 1975, p. 232).

O fato de a criança do período pré-operatório não possuir quaisquer intuições probabilísticas, confirma um desenvolvimento mais tardio, também num nível intuitivo, do conceito de probabilidade em comparação com outros conceitos.

2.3.1 As críticas ao trabalho de Piaget & Inhelder

Para Fernandes (1999), as conclusões de Piaget e Inhelder (1975), apontando para um desenvolvimento tardio do conceito de probabilidade, logo deram origem a um acalorado debate acadêmico e muita controvérsia. Segundo Hawkins & Kapadia (1984), levantaram-se questões em três níveis:

- I) a pesquisa centrou-se no desenvolvimento espontâneo do conceito de probabilidade, não envolvendo qualquer mediação social nesse processo de desenvolvimento,
- II) enfatizou-se uma abordagem formal do conceito de probabilidade, privilegiando-se o conceito clássico de probabilidade e as operações combinatórias,
- III) observou-se a ausência de um rigoroso controle experimental.

Fischbein (1975) analisou uma grande variedade de estudos integrados no paradigma da “aprendizagem de probabilidades”, que se referem a uma situação na qual as respostas dos sujeitos são intermitente e aleatoriamente reforçadas, com uma frequência relativa particular. Por exemplo, na sua forma mais simples, um estudo deste tipo consiste em colocar em frente do sujeito duas lâmpadas de cor diferente e dois botões. Pode ter-se ainda uma terceira lâmpada usada como sinal de “prontidão”. Uma vez que esta lâmpada acenda, o sujeito deve pressionar o botão correspondente à lâmpada da cor que previu que iria acender. Seguidamente, uma das lâmpadas acende-se, confirmando ou refutando a previsão feita. A experiência repete-se, observando-se estes passos, durante um elevado número de vezes, por exemplo, uma ou duas centenas, agrupando-se em seqüências de várias provas. Nestas experiências, para uma certa probabilidade *input*⁸, pretende-se avaliar em que medida as previsões do sujeito se vão aproximando do *nível input* com o decorrer da experiência.

Segundo Fischbein (1975), nestes estudos foram considerados os aspectos:

- (1) o comportamento diferenciado e maximizado em função da idade,
- (2) o papel da recompensa e da punição,
- (3) o papel da instrução,
- (4) os efeitos recentes e a análise seqüencial.

Dos resultados obtidos, Fischbein (1975) destaca os seguintes:

- (1) observa-se uma tendência para igualar a probabilidade *input* em todos os grupos etários estudados, antes mesmo dos 3 anos de idade;
- (2) a rapidez com que os sujeitos atingem o nível de probabilidade *input* aumenta com a idade e é atingido o mais tardar por volta dos 5-6 anos de idade;
- (3) a recompensa induz uma tendência de maximização que se torna mais forte com a idade;

⁸ No caso, a expressão “*input*” tem a significação de entrada, início, começo, dados *a priori*.

- (4) surge uma tendência para respostas estereotipadas entre os 7 e os 9 anos de idade, particularmente a alternância de respostas, e depois dos 11 anos de idade as previsões são determinadas mais através de padrões extrapolados das seqüências de acontecimentos anteriores;
- (5) as crianças mais velhas adotam estratégias mais sofisticadas, baseadas em regras deterministas;
- (6) em crianças, o comportamento para igualar a probabilidade está sujeito à generalização do mesmo modo que no condicionamento clássico;
- (7) a instrução prévia sobre os conceitos do acaso e de probabilidade melhorou a realização dos sujeitos nas tarefas de aprendizagem de probabilidades.

Para Fischbein, o último resultado indicado “apóia” a hipótese da existência de uma organização conceitual rudimentar subjacente ao comportamento de igualar a probabilidade *input* e ao comportamento probabilístico espontâneo em geral.” (Fischbein, 1975, p. 57)

Por outro lado, pelo fato de os sujeitos não serem informados sobre o que se passa no interior dos aparatos utilizados nas experiências de aprendizagem de probabilidades, Scholz & Waller (1987) levantam dois problemas inerentes a este paradigma de investigação. Por um lado, o desvio da realização do sujeito, em relação à estratégia de resposta ótima, pode ser explicado pelo fato de ele não reconhecer a aleatoriedade da seqüência de resultados, adotando uma estratégia de resolução de problemas para descobrir e prever regularidades na seqüência. Por outro lado, a hipótese de que a seqüência é genuinamente aleatória justifica-se pelo fato de que nem todas as seqüências são permitidas, mas apenas aquelas que dão a impressão do acaso, o que pode explicar a preferência em não selecionar a alternativa mais freqüente em todos os casos. Falk & Levin (1980) conduziram um estudo com 36 crianças entre os 5 e os 11 anos de idade, envolvendo três tipos de objetos aleatórios estruturalmente equivalentes (urnas com bolas, roletas e rapas), contemplando três níveis diferentes de

dificuldade (por referência à comparação de frações de probabilidade) e sendo recompensada uma das duas cores dos aparatos. Surpreendidos pelo fato de crianças muito novas terem sido capazes de efetuar escolhas sistemáticas corretas, estes autores realizaram outro estudo com 25 crianças entre os 4 e os 7 anos de idade. Nesta segunda experiência, foram usados apenas roletas e foi controlado ainda o número de elementos da cor não recompensada. Em ambos os estudos, no caso dos sujeitos mais novos, observou-se um nível de escolha da resposta correta próximo da decisão ao acaso (52%), quando o número de elementos da cor recompensada era menor na escolha correta. Os autores referem que:

“Esta baixa probabilidade de escolha reflete não apenas um palpite acidental na ausência de um princípio de escolha, mas sobretudo uma escolha deliberada do conjunto que incluía mais elementos recompensados” (Falk & Levin, 1980, p. 193-194).

Verificou-se, ainda, que o nível de dificuldade repercutiu desigualmente nos diferentes níveis escolares, diminuindo, entretanto, com a idade. Contudo, este efeito não foi tão dramático como o que resultou do número de elementos da cor recompensada. Em geral, foram poucos os sujeitos em que se verificou coincidência do padrão de resposta ao longo de várias questões, resultando na ausência de coerência sistemática. Alguns dos princípios subjacentes às respostas eram mesmo irrelevantes, escolhendo-se, por exemplo, o objeto mais próximo, a roleta cujo ponteiro se localizava inicialmente na cor pretendida, o objeto situado no lado esquerdo porque se é canhoto, o objeto mais bonito, a cor do clube de futebol preferido, etc. Por volta dos 7-8 anos, alguns sujeitos (poucos) adotaram um outro princípio errado, escolhendo a alternativa com menos elementos da cor não recompensada. Num estudo posterior, estes autores observaram que dois sujeitos, com idades à volta dos 7-8 anos, adotaram a diferença entre o número de elementos das duas cores como critério de escolha. Neste caso, a integração aditiva, via cálculo da diferença, constitui uma alternativa à integração multiplicativa, via cálculo proporcional. Em relação aos conceitos verbais de

probabilidade, os resultados dos estudos mostraram que a capacidade de efetuar escolhas corretas precede claramente a capacidade verbal relativa aos mesmos problemas. Muitas crianças que tinham realizado quase perfeitamente ao nível das escolhas, experimentaram grandes dificuldades quando lhes foi pedida uma explicação das escolhas. Por volta da idade dos 6 anos, assistiu-se a uma melhoria clara e abrupta da realização dos sujeitos, verificando-se que as crianças demonstraram uma realização a um nível superior ao acaso num conjunto de problemas críticos, envolvendo proporções. Para Falk & Levin (1980), a capacidade exibida pelos sujeitos mais novos pode ter uma origem fundamentalmente intuitiva, baseando-se em julgamentos perceptivos e não tanto em operações intelectuais bem estabelecidas. Para Fischbein (1975), o modelo dos estágios de desenvolvimento do conceito de probabilidade de Piaget & Inhelder (1975) apresenta duas deficiências importantes. A primeira resulta do fato dos resultados obtidos em estudos realizados no âmbito do paradigma da “aprendizagem de probabilidades”, particularmente nos anos sessenta, não poderem ser incluídos neste modelo. A segunda, reside na subestimação da importância do papel da instrução na formação do conceito de probabilidade. Os estudos em “aprendizagem de probabilidades” são da maior importância para o estudo de intuições probabilísticas nas crianças. A tendência para igualar a probabilidade *input*, não pressupondo qualquer sistema conceitual adequado, constitui, no entanto, um sinal da presença de esquemas comportamentais adaptados às condições estocásticas nos primeiros estágios de desenvolvimento, especificamente estágios pré-operacionais. Fischbein vê nesta tendência para igualar a probabilidade *input* a expressão de uma intuição particular, que designa por “intuição da frequência relativa”. A compreensão pré-conceitual baseia-se em intuições primárias, que são um tipo de conhecimento implícito que se desenvolve espontaneamente em resultado da experiência do dia-a-dia da criança. Com o crescimento da criança, estas intuições primárias são sucessivamente transformadas num conceito operativo de

probabilidade. Contudo, este processo não é espontâneo nem o resultado automático de um processo de auto-regulação do crescimento, antes é mediado por uma intervenção na escola. Para Scholz (1987), os resultados de investigação conhecidos apóiam fortemente a estratégia de Fischbein, ao confirmar que a aquisição de um conceito operatório de probabilidade implica o ensino às crianças de regras e estratégias do cálculo de probabilidades. Segundo Scholz (1987), Fischbein concebe o desenvolvimento do conceito de probabilidade como um processo contínuo e Piaget & Inhelder concebem-no como um processo descontínuo. Na hipótese de continuidade, interpreta-se o processo de desenvolvimento do conceito de probabilidade como um processo de diferenciação progressiva em que os julgamentos probabilísticos subjetivos se tornam mais elaborados, culminando na substituição destes julgamentos por outros baseados em argumentos lógico-matemáticos (em relação ao conceito objetivista de probabilidade). O desenvolvimento descontínuo do conceito de probabilidade explica-se pela interpretação clássica do conceito de probabilidade, que foi adotada por Piaget & Inhelder (1975). De modo semelhante a Scholz (1987), Hawkins & Kapadia (1984), referindo-se aos modelos de desenvolvimento cognitivo, ressaltam que o trabalho de Piaget & Inhelder (1975), é focado em estágios de desenvolvimento conceitual, enquanto para Fischbein a cognição é fundamentalmente unitária, ou seja, é do mesmo tipo qualquer que seja o seu nível de aplicação. Entre os inúmeros estudos realizados por Fischbein e seus colaboradores, iremos, seguidamente, referir-nos àqueles especialmente relacionados com a problemática discutida. Fischbein, Barbat & Mînzat (1975) conduziram um estudo com alunos do 6º, 8º e 10º anos, de idades compreendidas entre os 12:5 (12 anos e 5 meses) e os 16:9 (16 anos e 9 meses) e sem qualquer ensino de probabilidades, usando um método de investigação que designaram por “instrução por descoberta programada”. Este método, pensado para revelar intuições primárias dos sujeitos, consistia numa seqüência de etapas padronizadas, cada uma das quais começava com uma questão. Esperava-se que o sujeito

desse uma resposta significativa, baseada em sua intuição ou numa possível transferência. Todavia, se o sujeito não respondesse à questão eram formuladas outras questões, chamadas de questões auxiliares. As situações probabilísticas foram apresentadas aos sujeitos, fundamentalmente, no contexto de urnas com bolas de gude. No caso das situações de transferência das leis da multiplicação e da adição recorreu-se ao contexto de um dado e de uma caixa com determinados percentuais de maçãs verdes e maduras. Os resultados do estudo mostraram o caráter intuitivo dos seguintes conceitos e procedimentos:

- (1) o conceito de acaso;
- (2) a quantificação do acaso como relação entre o número de resultados favoráveis e o número de resultados possíveis;
- (3) a atribuição do valor **1** à probabilidade do acontecimento certo e do valor **0** à probabilidade do acontecimento impossível;
- (4) a probabilidade da reunião de acontecimentos mutuamente exclusivos é dada pela soma das probabilidades dos acontecimentos.

Constatou-se, assim, que a definição clássica de probabilidade e os axiomas da teoria de probabilidades têm uma origem intuitiva. Em relação à multiplicação de probabilidades, em experiências compostas, observou-se uma intuição rudimentar da redução das possibilidades, traduzida pela lei $P(A) > P(AA)$. Contudo, o reconhecimento desta relação não garantiu a intuição do cálculo apropriado. Uma vez aprendido o cálculo, observou-se uma transferência direta em situações muito semelhantes (de dois para três bolas de gude e delas para dados). A transferência foi drasticamente restringida quando as situações não eram semelhantes (o problema das maçãs). No caso da lei da adição, em experiências compostas, observou-se uma quase total incompreensão do caráter composto destes acontecimentos e de levantamento das diferentes situações que constituem o mesmo acontecimento. Para estes autores, a inexistência de intuições primárias e de enviesamentos intuitivos, implicam que:

[] uma intuição secundária, destinada a preencher a lacuna intuitiva ou a substituir uma intuição primária inadequada, não pode ser construída como resultado de uma explicação local, mesmo clara e convincente. Diferentemente, é exigido um exercício prolongado, que interatuaria, cremos nós, com estágios amplos de desenvolvimento intelectual (operações concretas e formais) de tal modo que a construção relevante seria organicamente incorporada na estrutura mental à medida que se desenvolve.” (Fischbein, Barbat & Mînzat, 1975, p. 153)

Verificou-se ainda, neste estudo, que não parece haver uma melhoria sistemática e espontânea das intuições com a idade. Além disso, no caso dos alunos do 10º ano, a superioridade dos alunos dos cursos com matemática salientou-se particularmente quando eles foram induzidos a transferir uma operação aprendida. Fischbein et al. (1975) realizaram um estudo com o propósito fundamental de determinar a idade a partir da qual é possível falar de uma intuição do acaso e de probabilidade na criança. Para tal, envolveram no estudo sujeitos dos 6 aos 14 anos de idade, repartidos por cinco grupos etários: 5:10-7:6 (nível pré-escolar), 7:0-8:3, 9:2-10:5, 11:3-12:10 e 13:5-14:5. Foram usados seis aparatos de madeira com diferentes bifurcações, dos quais três envolviam apenas acontecimentos equiprováveis e os outros três envolviam acontecimentos com probabilidades diferentes e implicavam a adição e multiplicação de probabilidades. Para cada aparato foram feitas duas perguntas: uma relativa ao lançamento de uma bola de gude e outra relativa a vários lançamentos (conceito de frequência). No caso das situações envolvendo probabilidades iguais, verificou-se que as crianças do nível pré-escolar atingiram uma elevada percentagem de respostas corretas, superior à obtida pelas crianças mais velhas. Para os sujeitos mais novos, a intuição de equiprobabilidade, apoiada por uma reduzida capacidade de análise e por uma relativa indiferença ao detalhe, foi suficiente para responder a estas questões. Além disso, para estes sujeitos não se verificou uma diferença clara entre a probabilidade como um fato objetivamente condicionado e como um capricho subjetivo. No caso dos sujeitos mais velhos, os autores explicam os fracos resultados obtidos em termos do ensino recebido.

[...] O processo de ensino, particularmente como é determinado pelas escolas, orienta a criança para uma interpretação determinista do fenômeno, no sentido de procurar e explicar relações em termos claros, certos e unívocos. A criança é ensinada a procurar as causas de um fenômeno na forma de fatores operando univocamente [...] (Fischbein, Pampu & Mînzat, 1975, p. 169)

As dificuldades em reconciliar o estocástico e o determinado em crianças de 11-12 anos explicam-se ainda, não apenas por referência ao estágio de desenvolvimento intelectual (operações concretas), segundo Piaget & Inhelder (1975), mas também pela existência de um estado de desequilíbrio. Neste último caso, para Fischbein et al. (1975) as respostas hesitantes e oscilantes destas crianças, que aumentaram com a idade, constitui um argumento forte em favor desta explicação. Em relação às situações envolvendo probabilidades diferentes e as operações de adição e multiplicação, verificou-se que a percentagem de respostas corretas aumentou com a idade. As dificuldades sentidas pelas crianças mais novas podem explicar-se, segundo estes autores, pela complexidade do próprio aparato, pelo fato da incerteza presente nestas situações poder ser compensada, em certa medida, pela existência de uma opção que pode ser objetivamente justificada a partir de assimetrias e causalidades e pela exigência de certas construções lógicas, as quais são elaboradas gradualmente. O maior salto, na direção das respostas corretas, verificou-se no grupo etário dos 11:3-12:10, o que confirma, em parte, as conclusões e recomendações de Piaget. Tal como no estudo anterior, no sentido de atenuar a visão determinista, os autores advogam que a criança seja confrontada desde muito nova com problemas práticos e teóricos deste tipo, para além do cálculo de probabilidades que é geralmente ensinado às crianças mais velhas. Finalmente, quanto à explicitação da frequência, verificou-se que foram os sujeitos dos dois grupos etários mais velhos que mais beneficiaram, apresentando maiores percentagens de respostas corretas.

Embora existam diversos trabalhos na área de educação matemática, na área de matemática, em psicologia da educação, e em educação, que atribuem falhas ao trabalho de Piaget & Inhelder (1975), a quase totalidade das pesquisas sobre a aprendizagem de

probabilidade e estocástica utilizam-no como referencial teórico, e, mais que isso, repetem boa parte de sua argumentação conceitual e teórica para embasar seus resultados comparativos. Por isso, apesar das críticas, ressalvas e adendos, optamos por utilizá-lo como suporte teórico nesse nosso trabalho. Toda nossa fundamentação e argumentação conceitual se baseou nele, principalmente. Em resumo, as principais críticas se referem às técnicas de entrevista clínica utilizadas, que não contemplam a ação dos sujeitos sobre o experimento, subestimando as habilidades cognitivas dos mesmos. E também a ausência de rigor quantitativo e metodológico na análise dos dados de suas tarefas (experimentos).

Capítulo 03

3.1 A metodologia utilizada na pesquisa e os instrumentos de coleta de dados

Neste capítulo apresentamos o desenho experimental utilizado na coleta dos dados e discutimos também as características dos testes e entrevistas aplicados, além da motivação de suas escolhas, baseadas no trabalho de Piaget & 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 (10 rapazes e 5 moças) foram os de melhor desempenho escolar, com base no aproveitamento e na participação dos mesmos até o terceiro bimestre. Um detalhe interessante acerca desses 15 alunos, é o fato de todos eles serem oriundos de colégios da rede pública, ou seja, cursaram até a segunda série em instituições da rede oficial do Estado. Essa classe 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, fizemos 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 a vontade para a elaboração do trabalho. Nossa pesquisa foi essencialmente qualitativa, ou seja, segundo Bogdan & 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. Não aplicamos as entrevistas e os testes na própria sala de aula porque as mesmas deveriam ser (e foram, efetivamente) feitas de forma individual, aluno por aluno, e caso fossem realizados no ambiente de sala de aula, com a turma presente e sob a influência do professor os resultados provavelmente não seriam tão confiáveis. A própria operação de entrevistar e aplicar os testes tornar-se-ia pouco produtiva, já que nem todos os estudantes da turma estavam envolvidos com a pesquisa. Conforme ainda Bogdan & 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 *semi-estruturada*). 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 utilizar e compreender as noções de acaso e probabilidade. Com base no trabalho de Piaget & 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. Estas três tarefas são, dentre as que os autores utilizaram em sua pesquisa, as que mais se adequavam aos objetivos de nossa investigação.

3.1.1 Os Pré-testes: entrevistas acerca do conceito de mistura casual

- Primeiro teste/entrevista: consistiu em avaliar o conceito de mistura aleatória, ou brassagem⁹. Num dos seus primeiros estudos sobre a intuição do acaso, Piaget & Inhelder investigaram-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. 01)

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 & Inhelder propuseram um experimento no qual à criança, era apresentada 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, 8 esferas vermelhas e 8 esferas brancas. Essas duas fileiras de esferas estão separadas por uma pequena divisória de madeira conforme a figura 03, mostrada a seguir:

⁹ Piaget & Inhelder utilizam o termo “brassagem” para designar mistura, ou o movimento na qual a mistura é produzida.

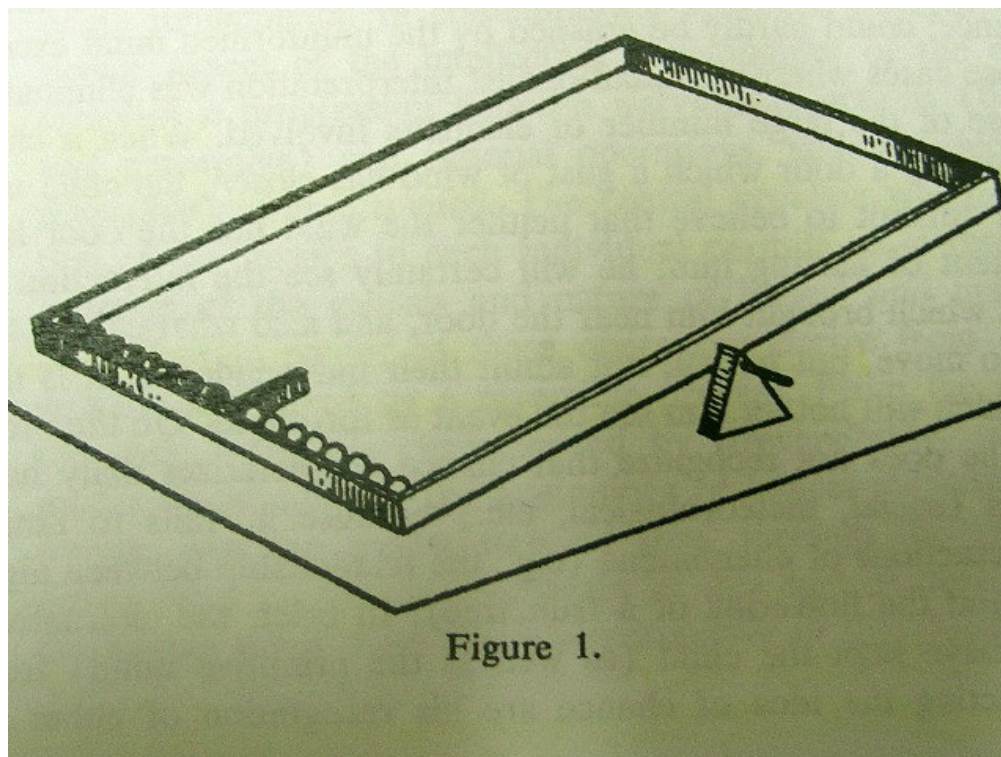


Fig. 03

(Extraído de Piaget & Inhelder, 1975, p. 02)

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 material 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 seqüência 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):

- 1) Em que ordem as esferas voltarão ?
- 2) Ficarão as esferas de mesma cor de um mesmo lado ou irão de misturar?
- 3) Faça a previsão do resultado após cada movimento de brassagem.
- 4) Faça uma previsão da possibilidade do retorno de todas as esfera de mesma cor para um mesmo lado.
- 5) Faça uma previsão da possibilidade do retorno de todas as esfera 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 **azuis** e seis **brancas** como as esferas de Piaget. A nossa montagem aparece abaixo, na foto 01:

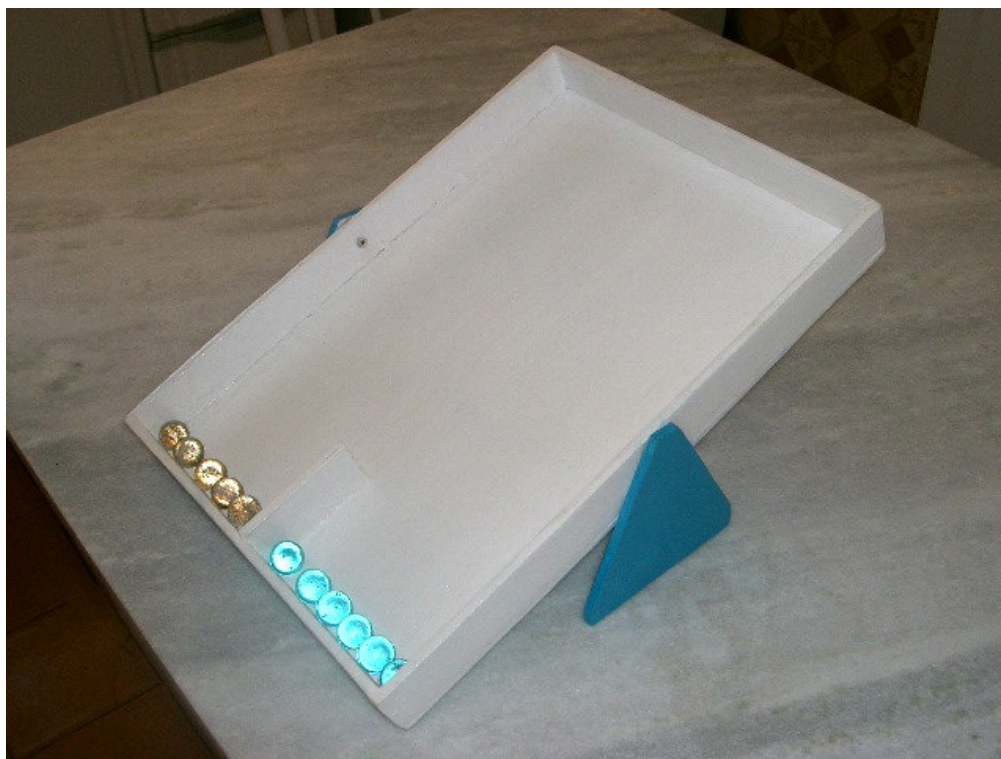


Foto 01

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 mostraremos alguns trechos de entrevistas com alguns dos estudantes participantes da pesquisa e as suas respectivas respostas. A íntegra das transcrições de todas as entrevistas encontra-se no anexo I desse trabalho. Nos trechos a seguir, **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):

1) Entrevista com AMA (17):

Situação inicial – 4 bolinhas azuis e 4 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...*

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

AMA: *acho que vão ficar.....ah....não sei, talvez 3 azuis e 1 branca do lado esquerdo e....1 azul e 3 brancas do lado direito.*

MO:_____

P :...*misturou?*

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

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

AMA: *ficou 4 brancas e 1 azul do lado esquerdo.....e...lá (direito)....3 azuis.*

P : *you 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: *you 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...2 azuis e 3 brancas (apontando pro lado esquerdo do separador).....e 2 azuis e 1 branca.*

MO:_____

AMA: *....ah eu não acertei....olha, ficou 1 azul e 2 brancas ...e do outro (lado direito) 3 azuis e 2 brancas.*

P: *calma...a idéia não é que you tenha que acertar.....mas you 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 6 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 4 brancas e 0 azuis...e do outro lado (direito) 6 brancas e 2 azuis.*

MO: _____

AMA: *....nossa*

P: *fala pra mim, como é que ficou?*

AMA: *ficou 3 brancas e 6 azuis.....e do outro (direito).....3 brancas e 0 azuis.*

P: *foram quase todas pro mesmo lado?*

AMA: *...foi [surpresa]*

P: *houve mistura só de uma 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 3 azuis e 2 brancas e....(do outro lado)... 3 azuis e 4 brancas.*

MO:_____

P: *o que deu?*

AMA: *2 azuis e 3 brancas.....e (do lado esquerdo) 4 azuis e 3 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 6 brancas e as 6 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 4 lançamentos...*

P: *e as 6 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 20.*

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

AMA: *...a partir dessa posição?*

P: *sim...*

AMA: *então agora vão ficar....2 azuis e 5 brancas (lado esquerdo)...e do outro 4 azuis e 1 branca.*

MO:_____

P: *como ficou?*

AMA:...ficaram 3 brancas e 3 azuis.....do outro lado também (direito)...nossa! [novamente, parece surpresa]

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

AMA:.....é...ficou 3 de cada cor.....de cada lado...[sorrindo bastante]

P:.....você viu?....as bolinhas ficaram intercaladas...3 brancas.....3 azuis, e do outro lado...3 brancas e 3 azuis....

AMA:...é mesmo.....que legal.

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

AMA:...tá bom.

2) Entrevista com THI (16):

Situação inicial – 4 bolinhas azuis e 4 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 1 azul e 3 brancas (lado esquerdo), e 3 azuis e 1 branca...(do outro)

MO: _____

P: quanto ficou do lado aí (esquerdo)?

THI: ...1 azul e 4 brancas, e do outro 3 azuis e 0 brancas

P: *you quase acertou a previsão!....you 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: *...1 azul e 4 brancas desse lado (esquerdo) e...3 azuis e 0 brancas do outro.*

MO: _____

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

THI: *...a mesma coisa do anterior....ué, não houve mudança...1 azul e 4 brancas (esquerdo) e 3 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 6 bolinhas de cada cor agora?*

THI: *tudo bem...*

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

THI: *aumenta! [com ênfase]*

P: *faça uma estimativa...*

THI: *...4 brancas e 2 azuis (lado esquerdo) e....2 brancas e 4 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) 5 brancas e 0 azuis (E) e 1 branca e 6 azuis (D).

P: faça mais uma previsão...

THI: ...4 brancas e 1 azul (E)...e 2 brancas e 5 azuis (D)..

MO: _____

P: olha.....que coisa!

THI: voltaram as 6 brancas pra sua posição original...e as 6 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: ...2 brancas e 2 azuis (E) e 4 brancas e 4 azuis (D).

MO: _____

P:...aumentou?

THI:...ficou 5 brancas e 3 azuis (E) e 1 branca e 3 azuis (D)...mudou, né? Mas não acho que aumentou....

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

De um modo geral, todos os 15 estudantes entrevistados mostraram um domínio da noção de mistura, pelo menos em relação à idéia de probabilidade de “*haver*” 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*” mais e mais com o

aumento da quantidade de brassagens. Embora alguns tivessem 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 4 (conforme AMA), 10 ou até 20 lançamentos. Na realidade, esse valor é bem maior¹⁰, mas de qualquer maneira, esse tipo de resposta pode encontrar justificativa em Piaget & Inhelder (1975), que apresentam uma hipótese para explicá-la. Faremos mais considerações e comentários a respeito dos resultados dessas entrevistas, e da explicação de Piaget & Inhelder para as respostas citadas, no capítulo 04.

3.1.2 Os Pré-testes: entrevistas acerca do conceito de distribuição uniforme

- Segundo teste/entrevista: consistiu em verificar a noção de distribuição uniforme. A esse respeito, segundo Piaget & Inhelder (1975), nada mais representativo que a forma de divisão apresentada por gotas de chuvas ao cair casualmente no início de um aguaceiro. Suponhamos uma superfície repartida em quatro lajes iguais, numa área retangular, como o quintal de uma casa por exemplo. 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, há sempre a probabilidade de que determinada laje, poupada no início, receba gotas da chuva até ocorrer uma distribuição regular de gotas. Segundo Piaget & Inhelder, essa divisão regular constitui um fato de observação habitual para crianças de qualquer idade (idem, 1971, p. 50). Os autores então

¹⁰ Para 10 bolinhas azuis e 10 bolinhas brancas o número médio de lançamentos é de 184.756, segundo Piaget & Inhelder (1975, p. 25) para que todas elas retornem às suas posições originais.

propõem o seguinte experimento: uma folha de papel branco, repartida em quadrados de 2 a 3 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 pede-se 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 delas (das gotas). De acordo com Piaget & Inhelder, em qualquer idade, acima dos 6-7 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 6-4 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 7-10 e 10-12 anos é que se opera a síntese da uniformidade e do acaso, graças à compreensão gradual do que Piaget & 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, como a figura 04 abaixo), onde eles achavam que iriam cair as 20 primeiras gotas de chuva, supondo que aquela área retangular dividida em 4 partes era um quintal de uma casa sob um início de aguaceiro. As gotas de chuva deveriam ser representadas por bolinhas ou esferas pequenas.

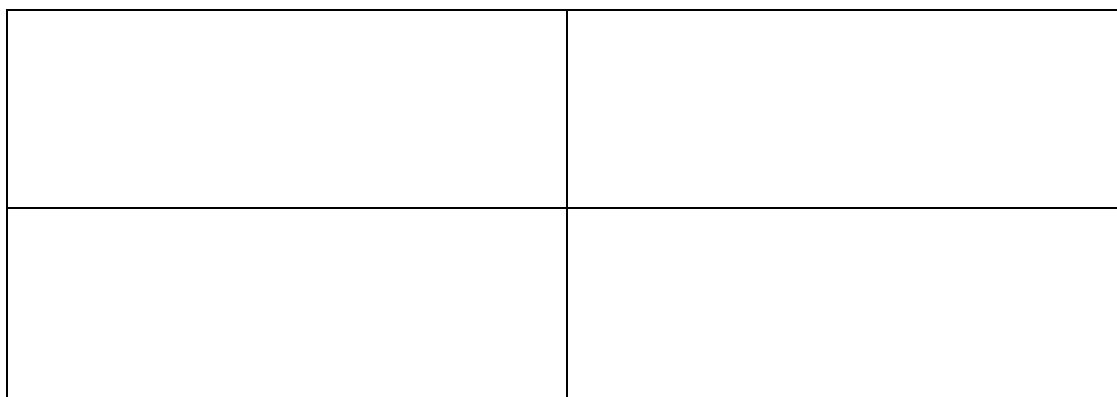


Fig. 04

Em relação a esse experimento, cujos desenhos se encontram no Anexo I, pudemos observar que a maior parte dos estudantes investigados desenhou as gotas se espalhando com uma distribuição uniforme (pelos quatro quadrantes) seguindo as leis de equiprobabilidade (as chances de caírem gotas em todos os quadrantes são as mesmas), exceto RAF (17 anos), DIE (17 anos), e THI (16 anos), que as representaram em **um** ou **dois** dos quadrados apenas (ver Anexo I). Em relação aos desenhos elaborados pela maioria, o resultado significou que suas funções cognitivas, ou esquemas, estão adaptadas, segundo Piaget & Inhelder (1975), para a compreensão do mecanismo de “compensação progressiva”, que garante a regularidade da distribuição em função do número cada vez maior de gotas, ou seja, a diferença entre o número de gotas de chuva em cada laje (quadrante) diminui sempre mais, quanto mais aumentar o número de gotas (progressão da chuva).

3.1.3 Os Pré-testes: entrevistas acerca do conceito de permutação

- *Terceiro teste/entrevista:* Neste teste buscou-se verificar se os estudantes apresentavam a noção de permutação aleatória. Segundo Piaget & Inhelder (1975), é perfeitamente possível investigar, na criança, a presença ou não de sistemas que encontrem o número de permutações 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 à cada par **AB** e **BA** (**CAB**, **ACB**, **ABC**, **CBA**, **BCA** e **BAC**). Também acharão que o acréscimo de um quarto elemento **D** proporciona quatro vezes mais permutações, seja, $6 \times 4 = 24$, porque podemos colocar **D** de quatro maneiras em relação a cada um dos seis trios. De fato eles acabarão

descobrimos 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, p. 173-174). 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 & 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 nossos 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. Vejamos o resultado de dois desses testes.

1) Teste de permutação com LEA (19):

P: *de quantas maneiras diferentes eu posso colocar essas duas cartas (A e B)?*

LEA:...duas maneiras, AB e BA...

P: *e com três (A, B e C)?*

LEA: *seis...*

P: *com quatro (A, B, C e D) ?*

LEA: *...vinte e quatro [depois de um tempo calculando]*

P: *...e com cinco cartas (A, B, C, D e E)?*

LEA: *...hummm, espere [calcula numa folha]...cento e vinte maneiras...*

P: *...certo...e com as seis (A, B, C, D, E e F)?*

LEA: *...[algum tempo em silêncio].....setecentos e vinte....*

P: *....Ok, muito obrigado!*

2) Teste de Permutação com LEV (17 anos):

P: *bom, vamos começar...está pronto?*

LEV: *...sim, vamos*

P: *de quantas maneiras posso organizar as duas cartas (A e B)?*

LEV: *...de duas...*

P: *e....com três cartas (A, B e C)?*

LEV: *...são seis as maneiras...*

P: *aumentando para quatro cartas (A, B, C e D)...*

LEV: *hummm...é....vinte e quatro, né?*

P: *.....e se usássemos cinco (A, B, C, D e E)?*

LEV: *...cento e vinte. [depois de pensar alguns minutos]*

P: *finalmente, se fossem as seis cartas, de quantas maneiras?*

LEV: *....[pensa bastante].....setecentos e vinte....é isso?*

P: *....certo, obrigado pela colaboração!*

Todos os alunos entrevistados, sem exceção, responderam corretamente a este teste, calculando com exatidão o número de permutações possíveis para cada conjunto de cartas. Nossa conclusão, a partir do trabalho de Piaget & Inhelder (1975), é de que suas estruturas cognitivas lhes possibilitaram operar tanto com a formulação de $n!$, como também com a interpretação de casualidade e intencionalidade da permutação proposta, facilitando-lhes assim a generalização.

3.2 O Pós-teste: entrevistas acerca da Teoria das Colisões

Após a aplicação dos pré-testes nos sujeitos da pesquisa, com o intuito de verificar, de acordo com nossos referenciais teóricos, o nível de suas estruturas cognitivas em relação à noção de probabilidade e acaso, investigamos em nossos estudantes como eles reconhecem e utilizam a teoria das probabilidades e a idéia de acaso na elaboração de conceitos da teoria cinética das colisões. Essa teoria propõe, em nível submicroscópico, um modelo para o entendimento de como as reações químicas ocorrem. Ela surgiu no início do século XX, como a primeira teoria bem sucedida de velocidade de reação, desenvolvida com base na teoria cinética dos gases (Russel, 1994). Esta teoria admite que, para ocorrer uma reação entre moléculas de gás, é necessário que estas moléculas colidam entre si. Por este motivo é conhecida como “*Teoria das Colisões*”.

3.2.1 Breve Histórico da Teoria das Colisões

Esta breve resenha histórica foi adaptada do artigo “*A obra de Boltzmann em Física*”, de Sílvia R. Dahmen, publicado na Revista Brasileira de Ensino de Física, em 2006. Apenas a título de esclarecimento, os trechos que discutem as proposições e as bases matemáticas das

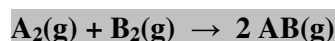
leis da termodinâmica foram suprimidos. Assim, somente as informações acerca da teoria cinética dos gases são mostradas, em seu aspecto evolutivo.

Em 1866, ano da conclusão de seu doutorado, o físico austríaco Ludwig Eduard Boltzmann (1844-1906), publicou um artigo intitulado "Acerca do significado mecânico da segunda lei da teoria do calor" onde, como o título destaca, ele tenta fundamentar a segunda lei através da aplicação de princípios mecânicos ao movimento das moléculas de um gás. Este era o segundo artigo deste jovem físico. No ano anterior ele havia publicado um trabalho sobre o "movimento da eletricidade em superfícies curvas", seu tema de doutorado sob a orientação de Josef Stefan. A aplicação da mecânica para um gás de partículas tivera seus precursores: em 1738, Daniel Bernoulli levantou a hipótese de que as propriedades de um gás, como pressão e temperatura, poderiam ser entendidas considerando-se um gás como um conjunto grande de moléculas elásticas que colidiam entre si e contra as paredes do recipiente. Esta idéia não era nova, porém Bernoulli foi o primeiro a colocar a hipótese em termos quantitativos, lançando assim as bases do que viria a ser a teoria cinética de algumas décadas a frente. Entre os antecessores de Boltzmann podemos contar A. Krönig, que em 1856 deduziu a equação:

$$P.V = n.R.T$$

e R. Clausius, que em 1857 mostrou de maneira clara que a energia térmica de um gás nada mais era que a energia cinética das moléculas. Em outras palavras, a primeira lei da termodinâmica nada mais era que uma lei da mecânica aplicada às partículas do gás. Mas foi J. C. Maxwell que, a partir das idéias de Simon, Lagrange, Bernoulli, Herschel, Krönig e Clausius desenvolveu em 1859 uma teoria para processos de transporte em gases, calculando entre outras coisas a viscosidade, a difusão e a transmissão de calor. Neste ano ele deduziu a lei de distribuição de velocidades das moléculas de um gás de um modo ainda um tanto heurístico e em 1867 de forma mais fundamentada. O mérito de Clausius e Maxwell foi mostrar que as propriedades de equilíbrio e de transporte seguem da cinética das moléculas. O "problema" da segunda lei então torna-se claro: se quiser-se fundamentar a termodinâmica sobre uma teoria cinética, deve-se ser capaz de explicar a segunda lei em termos cinéticos, sem a necessidade de introduzir hipóteses adicionais - a irreversibilidade deve surgir naturalmente das leis da mecânica. Mas se estas são reversíveis, surge então um paradoxo. Foi buscando uma resposta a esta pergunta que Boltzmann fez aquilo que, nas palavras de Schrödinger, representa seu maior legado à Física: mostrar que aquilo que nos parece impossível, a reversibilidade dos fenômenos naturais, na verdade não é impossível, mas sim improvável. Nenhuma lei da Física é violada se os pedaços de um copo estilhaçado se juntarem novamente. Nunca vimos isso ocorrer apenas pelo fato que a probabilidade que isso ocorra é inimaginavelmente pequena. A segunda lei é assim uma lei probabilística. E aqui está a outra grande contribuição de Boltzmann à Física: a introdução do conceito de **probabilidade** como ingrediente fundamental para a descrição da natureza. Boltzmann muito provavelmente chegou à teoria cinética através de Maxwell, de quem era um grande admirador e cujos trabalhos em eletromagnetismo ele ajudou a popularizar no continente europeu. Ele certamente conhecia os trabalhos de Maxwell sobre a teoria cinética de 1859 e 1867, pois já em 1868 o citara em seu trabalho o qual era focado no problema da distribuição de velocidades das moléculas de um gás. A partir deste trabalho Boltzmann deu início a um longo programa que o levaria a generalizar o trabalho de Maxwell sobre distribuição de velocidades para o caso geral de moléculas poliatômicas inter-agentes, razão pela qual a conhecemos hoje como "distribuição de Maxwell-Boltzmann". Dahmen (2006, p. 281-295)

Como se pode perceber desse relato, durante a segunda metade do século XIX, o físico escocês James Clerck Maxwell e o físico austríaco Ludwig Boltzmann desenvolveram, independentemente, a relação que descreve a distribuição de velocidades e energias moleculares de um gás. A teoria das colisões considera todos os fatores, num nível atômico-molecular, que podem influenciar na velocidade de uma reação. As considerações matemáticas a seguir, foram extraídas de Russel (1994), Kotz & Treichel (1998) e Masterton, Slowinski & Stanitski (1990). Para que não façamos grandes exercícios de cálculo e álgebra, vamos considerar o processo elementar, bimolecular, em fase gasosa:



Para ocorrer reação, uma molécula A_2 deve colidir com uma molécula B_2 . Assim, conclui-se que a velocidade da reação depende da frequência de colisões “ Z ” (número de colisões por segundo) entre as moléculas A_2 e B_2 . Como a velocidade deve ser o dobro se A_2 e B_2 colidirem em número duas vezes maior por unidade de tempo, pode-se afirmar que a velocidade da reação é diretamente proporcional à “ Z ”, ou:

$$\text{Velocidade} \propto Z \quad (1)$$

Por outro lado, a frequência de colisões depende das concentrações de A_2 e B_2 . Se dobrarmos a concentração de moléculas de A_2 , dobrará a probabilidade de ocorrerem colisões entre A_2 e B_2 , ou seja, dobrará a frequência de colisões. O mesmo raciocínio é aplicado quando se dobra a concentração de moléculas de B_2 , e, portanto, a frequência de colisões “ Z ” é proporcional as concentrações de A_2 e B_2 . Ou, como representado a seguir:

$$Z \propto [\text{A}_2] \quad \text{e} \quad Z \propto [\text{B}_2]$$

Portanto, concluímos que:

$$Z \propto [A_2] [B_2] \quad (2)$$

Reescrevendo como uma igualdade, obtêm-se:

$$Z = Z_0 [A_2] [B_2] \quad (3)$$

Onde a constante de proporcionalidade, Z_0 , representa a frequência de colisões, quando $[A_2] = [B_2] = 1$. Substituindo a equação (1), na equação (2), temos que :

$$\text{Velocidade} \propto Z_0 [A_2] [B_2] \quad (4)$$

De que outros fatores depende a velocidade? Que outros termos poderiam ser incluídos nessa proporcionalidade, além da frequência de colisões ? Imagine-se que uma única molécula A_2 colida com uma única molécula B_2 . Para que esta colisão produza moléculas AB , a colisão deve ocorrer com energia suficiente para romper as ligações $A-A$ e $B-B$, de modo que as ligações $A-B$ possam ser formadas. Desse modo, as moléculas que colidem devem ter uma certa energia mínima, denominada energia de ativação, **E_a** , para que as colisões sejam efetivas na formação do produto¹¹. Utilizando as equações de Maxwell-Boltzmann, é possível mostrar que, para um grande conjunto de moléculas reagentes, a fração de moléculas que possuem energia pelo menos igual à energia de ativação molar, **E_a** , é dada por:

$$e^{-E_a/RT} \quad (5)$$

¹¹ Uma colisão suave, ou de “raspão”, não distorce a nuvem eletrônica das moléculas a ponto de quebrar suas ligações, de acordo com Russel (1994).

onde “**e**” é a base dos logaritmos naturais, uma constante igual à 2,71828, “**R**” é a constante dos gases ideais e “**T**” é a temperatura absoluta (em kelvin). De acordo com a teoria das colisões, a frequência de colisões moleculares¹² efetivas (bem sucedidas), isto é, colisões que conduzem à formação de produtos, é proporcional à fração das colisões com energias iguais ou excedentes à energia de ativação. Em outras palavras:

$$\text{velocidade} \propto e^{-E_a/RT} \quad (6)$$

Embora não incluído na versão original da teoria das colisões, deve-se considerar mais um fator. Não é suficiente que uma molécula A₂ colida com uma molécula B₂ e nem mesmo basta que elas tenham a energia de ativação necessária, antes da colisão. Não ocorrerá reação química alguma se a orientação relativa das moléculas no instante da colisão não for favorável à ruptura das ligações em ambas e à formação de ligações A–B. Este efeito, chamado de “efeito estérico” (ou efeito de orientação ou ainda geometria de colisão), limita as colisões bem sucedidas àquelas cujas moléculas estão com orientação apropriada. O fator estérico “**p**”, também chamado “fator de probabilidade”, é a fração de colisões nas quais as moléculas estão favoravelmente orientadas à reação (estes fatores estéricos podem ser determinados experimentalmente e “**p**” é um número entre *zero* e *um*, sendo que para a grande maioria das reações assume um valor muito baixo). Portanto, de acordo com a Teoria das Colisões, a velocidade de uma reação é igual ao produto de três fatores:

- I) A frequência de colisões “**Z**”.
- II) A fração de colisões, $e^{-E_a/RT}$, bem sucedidas (efetivas) na produção de reações.
- III) O fator estérico “**p**” (também chamado de fator de probabilidade).

Combinando estes três fatores numa única relação matemática, temos que :

¹² Na verdade essas colisões podem envolver quaisquer tipos de partículas: átomos, moléculas ou íons.

$$\text{Velocidade} = p (e^{-E_a/RT}) Z \quad (7)$$

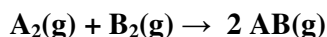
E substituindo a equação (3) em Z, obtêm-se:

$$\text{Velocidade} = p (e^{-E_a/RT}) Z_0 [A_2] [B_2] \quad (8)$$

Observando que, para um processo bimolecular numa dada temperatura, todos os termos que precedem a $[A_2] [B_2]$ na equação (8) são **constantes** e, portanto, pode-se reuni-los, todos, sob uma única constante “k” :

$$\text{Velocidade} = k [A_2] [B_2] \quad (9)$$

Que é a equação de velocidade para o processo bimolecular, citado no início dessas considerações:



Conforme vimos no *Capítulo 01* deste trabalho, a transposição didática desta Teoria das Colisões para os livros de Química e para situações de sala de aula, segue uma certa seqüência, que passa pela representação matemática da velocidade de uma reação (gráfica e algebricamente), pelo cálculo das velocidades médias e pela utilização da Lei da velocidade expressa pela equação (9). Na maioria das vezes, como destacamos na análise dos capítulos dos livros didáticos mais usados no Ensino Médio, esses livros (e inclusive os professores que os utilizam) não se referem aos termos probabilísticos ou à noção de casualidade na *freqüência das colisões*, na fração de *colisões efetivas* nem mesmo citam o fato do *fator*

estérico (*p*) ter um componente estatístico, para dar ao aluno uma visão mais completa do modelo cinético.

3.2.2 Os testes: o que pensam os alunos sobre a Teoria das Colisões

Antes de submeter os alunos, sujeitos da pesquisa, à entrevista/teste final, pedimos a todos que respondessem algumas questões relacionadas à “Cinética Química”, pois já haviam estudado esse conteúdo naquele ano, no segundo bimestre letivo. Em seguida à resolução do questionário e na mesma tarde, desenvolvemos as entrevistas finais. O objetivo principal do questionário era detectar o que os alunos haviam aprendido e o que realmente se traduziu em aprendizado significativo. Além disso, tentaríamos identificar, se possível, lacunas ou erros de conceito ou ainda concepções alternativas em suas respostas e depois cruzá-las com os dados e as respostas dos outros testes. A seguir, mostramos na íntegra, o que esse questionário solicitou aos alunos:

Questionário aplicado

1- Você já estudou, ou já leu, sobre como as reações químicas ocorrem num nível submicroscópico (nível de partículas)?

☐ **SIM**

☐ **NÃO**

2- Em caso positivo, descreva (com suas palavras) ou faça um desenho (do modelo que você aprendeu) que represente uma reação bimolecular, do tipo $A + B \rightarrow AB$, onde um único produto é formado.

3- Assinale os conceitos listados abaixo que você já estudou, ou já leu sobre:

- ☐ energia de ativação
- ☐ geometria de colisão
- ☐ complexo ativado
- ☐ colisão efetiva
- ☐ ordem de reação
- ☐ Lei da Ação das Massas
- ☐ molecularidade e ordem de reação
- ☐ catalisador

4- Descreva ou explique com suas palavras o que é uma *colisão efetiva* (apenas quando o quadradinho correspondente a esse conceito for assinalado).

5- No seu modelo, ou no seu entendimento, o que se pode afirmar sobre *colisões efetivas*:

- ☐ ocorrem ao acaso.
- ☐ são inelásticas.
- ☐ dependem da temperatura.
- ☐ dependem da orientação espacial das partículas.
- ☐ aumentam quando o número de partículas reagentes aumenta.
- ☐ ocorrem segundo uma lei matemática bem determinada, ou seja, podem ser

previstas rigorosamente em quantidade e intensidade.

6- A *velocidade* de uma reação química qualquer, no seu entendimento, ou segundo o modelo que você aprendeu:

- ☐ depende da temperatura.

- ☐ depende dos estados físicos dos reagentes.
- ☐ depende da quantidade de partículas reagentes (concentração).
- ☐ depende da massa das partículas envolvidas (massa molecular).
- ☐ depende da relação pressão/volume do recipiente onde as partículas se encontram.
- ☐ não depende de nenhum desses fatores.

7- Caso uma reação química bimolecular, onde os reagentes alcançam a energia de ativação, fosse simulada num recipiente (como uma caixa fechada ou saco de cor escura) com bolinhas de isopor representando as partículas que reagem, como aconteceriam essas colisões?

Em relação às entrevistas (todas elas), gravamos as falas e intervenções dos alunos durante as mesmas utilizando um gravador de voz digital bastante pequeno e discreto, que praticamente passou despercebido pelos alunos (eles rapidamente se esqueciam da presença do aparelhinho). Posteriormente transcrevemos essas falas para efeito de análise, seguindo nosso referencial teórico. Para avaliarmos essas transcrições 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 & Galiuzzi, 2005). Segundo estes autores (2005, p. 02):

[...] a análise textual discursiva é descrita como um processo de unitarização em que o texto é separado em unidades de significado. Estas unidades por si mesmas podem gerar um outro conjunto de unidades oriundas da interlocução empírica, da interlocução teórica e das interpretações feitas pela pesquisador [...]

Ainda de acordo com estes autores, depois desta unitarização, que precisa ser feita com intensidade e profundidade, passa-se a fazer a articulação dos significados semelhantes num processo denominado categorização. Na categorização são reunidas as unidades de significado semelhantes, gerando assim categorias mais amplas de análise. A análise textual

discursiva mais do que um conjunto de procedimentos definidos constitui metodologia aberta, caminho para um pensamento investigativo, processo de colocar-se no movimento das verdades, participando de sua reconstrução (Santos, 2002). Ela pode ser entendida como um processo de desconstrução, seguida de reconstrução, de um conjunto de materiais lingüísticos e discursivos, produzindo-se a partir daí novos entendimentos sobre os fenômenos e discursos investigados. Uma análise textual envolve identificar e isolar enunciados dos materiais submetidos à análise, categorizar esses enunciados e produzir textos, integrando nestes, descrição e interpretação, e utilizando como base de sua elaboração o sistema de categorias construído (Moraes, 2003; Moraes & Galianzi, 2006). Desta forma, como seu próprio nome indica, a análise textual trabalha com textos ou amostras de discursos, e esses materiais submetidos à análise podem ter muitas e diferentes origens: entrevistas, registros de observações, depoimentos feitos por escrito por participantes, gravações de aulas, de discussões de grupos, de diálogos de diferentes interlocutores, etc. (Moraes, 2003). Independentemente de sua origem, estes materiais são transformados em documentos escritos, para então serem submetidos à análise. O conjunto de textos submetidos à análise costuma ser denominado de *corpus* e representa, de acordo com Moraes (2003, p. 02), “*uma multiplicidade de vozes se manifestando sobre o fenômeno investigado*”. Ainda de acordo com este autor, o pesquisador precisa estar consciente de que ao examinar e analisar seu *corpus*, acaba sendo influenciado por todo esse conjunto de vozes, ainda que sempre faça suas leituras a partir de seus próprios referenciais. Fazer uma análise textual implica em definir e identificar unidades de análise. Estas são os elementos de base a serem categorizadas na sequência do trabalho. A partir das transcrições das falas dos estudantes, consideramos como unidade básica de análise um “*enunciado*”. Segundo Van Eemeren et al. (1987), citado por Villani & Nascimento (2003), a argumentação, no contexto das interações discursivas em sala de aula, é uma atividade social, intelectual e de comunicação verbal e não verbal utilizada

para justificar ou refutar uma opinião sobre um assunto de ciências. Ela é constituída de um conjunto de um ou mais posicionamentos com objetivo de obter aprovação de um determinado ponto de vista. Estes posicionamentos podem ser expressos em um ou mais “*enunciados*”, interpretados como argumentos ou opiniões, conforme esquema a seguir:

ARGUMENTAÇÃO

└→ POSICIONAMENTOS

└→ ENUNCIADOS

Um “*enunciado*” isolado normalmente não constitui um argumento ou uma opinião, a menos que esteja inserido num discurso e submetido a um determinado contexto. Alguns autores (ver Bakthin, 1997, 1998) consideram o enunciado como unidade básica de comunicação verbal por sua inequívoca identificação no discurso, e, embora nossos textos escritos se baseiem na verbalização das intervenções dos alunos, a interpretação do que é ou não um “*enunciado*” ocorreu de maneira subjetiva (fruto da nossa interpretação).

Assim, a unitarização dos textos, em nossa análise textual, teve início categorizando os “*enunciados*”. As falas dos alunos nas entrevistas e suas respostas coletadas nos questionários foram transformadas em textos e os “*enunciados*” classificados seguindo uma codificação. Ao fazer a unitarização é importante estar consciente das implicações que o processo acarreta, pois analisar significa dividir, e nessa fragmentação, está sempre implícita perda de parte da informação existente, já que o discurso tem não apenas idéias, mas também relações múltiplas entre elas. Entretanto as unidades de análise serviram para ajudar a focalizar os elementos mais específicos do texto, configurando-se válidas aquelas que afirmavam algo relevante em relação ao objeto da investigação (pré-estabelecido por nós).

Nossa categorização se constituiu num processo de classificação das unidades de análise produzidas a partir do *corpus* (Moraes & Galiazzi, 2003-b, 2006). Cada categoria correspondeu a um conjunto de unidades de análise organizadas a partir de algum aspecto de semelhança (marcas) que as aproximou. De acordo com Moraes (2003, p. 03), “*as categorias são constructos lingüísticos, e, como tal, tendem a não ter limites precisos*”. Categorizamos as falas dos alunos a partir dessa unitarização dos textos em enunciados e das análises dos significados comuns, durante as quais, inclusive, algumas delas emergiram. Isso significa que assumimos uma atitude fenomenológica de deixar que os fenômenos se manifestassem, construindo as categoria a partir das múltiplas vozes emergentes nos textos que representam o discurso dos alunos. As categorias, suas análises e inferências¹³, bem como a discussão sobre os resultados desse questionário serão abordadas no capítulo 04.

3.2.3 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. Desta vez, antes da entrevista, aplicamos o questionário apresentado nas páginas anteriores. 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

¹³ Segundo Bardin (1977, p. 39), *inferência* é um tipo de operação lógica, pela qual se admite uma proposição em virtude da sua ligação com outras proposições, já aceitas como verdadeiras.

relacionados a esse conteúdo específico. Queríamos investigar se os alunos estabeleciam alguma correlação ou não, se utilizavam ou não, elementos probabilísticos na interpretação/conceituação do modelo cinético. Para tanto preparamos um experimento, inspirado, mais uma vez, no trabalho de Piaget & Inhelder (1975, p. 207), que utilizando bolinhas de gude¹⁴ azuis e vermelhas contidas num saco fechado e escuro, pediam às crianças que as extraíssem ao acaso e calculassem as chances de obter duas seguidas de mesma cor (para investigar as operações formais de probabilidade quantitativa).

Ao adaptar esse experimento, nosso objetivo foi o de simular uma reação química bimolecular, elementar¹⁵, 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, não ocorreu choque efetivo e, portanto, não houve 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) ocorreu choque efetivo e, portanto, formou-se o produto (colisão entre moléculas de reagentes diferentes). As duas bolinhas então, eram retiradas do recipiente e outra era colocada, de cor *branca*, no saco, representado o produto formado. A **foto 02** a seguir, mostra a montagem do experimento:

¹⁴ Na versão em inglês do livro de Piaget & Inhelder (1975), aparece a palavra “marble”, cuja tradução para o português de Portugal é “bilha”, ou, para o português falado no Brasil, “bola de gude”.

¹⁵ Reação elementar ou aquela que necessita de uma única colisão, ou uma única etapa, para formar seu complexo de ativação. (Masterton et al., 1990, p. 357).



Foto 02

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 (duas bolinhas retiradas em sequência) eram feitas as seguintes perguntas:

- 1) Você acha que a probabilidade de colisão efetiva aumentou, diminui ou não se alterou? Por que ?**
- 2) Faça uma previsão para a próxima tentativa (colisão efetiva ou não e com qual chance).**

Cada aluno efetuou em média, de 15 a 20 tentativas. Através da análise das respostas elaboradas pudemos compará-las com os resultados dos pré-testes e classificá-las em categorias para uma análise posterior, no capítulo 04 deste trabalho. A seguir mostraremos

alguns trechos de entrevistas com alguns dos estudantes participantes da pesquisa e as suas respectivas respostas. A íntegra das transcrições de todas as entrevistas encontra-se no anexo I desse trabalho. Nos trechos a seguir, **P** é o pesquisador, as três letras maiúsculas são as iniciais do nome do aluno (entre parênteses a sua idade) e **TT** é a intervenção do aluno (a “tentativa”, ou seja, a extração aleatória de duas bolinhas, uma em seguida da outra, do interior do saco).

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, duas bolinhas em seguida....prá 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 prá 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:...1 preta ...e 1 vermelha....portanto: colisão efetiva...houve reação

ISA:...a gente tiras essas duas e põe 1 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 prá uns 48%...

TT:_____

P:....saiu...1 preta e1 vermelha, colisão efetiva.

ISA:...tira as duas.....coloca 1 branca.

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

ISA:....diminui mais.....porque entrou mais uma branca...acho que agora é de 46%...

[sem justificar]

TT:_____

P:...1 vermelha e.....1 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 mais produto,acho que diminui pra... [pensa bastante] uns... 43% [novamente sem justificar]

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

TT:_____

P:...1 preta e 1 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: 1 bola vermelha.....mais outra vermelha.

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

Nota: Após 15 tentativas, o número de bolinhas pretas e vermelhas, no interior do saco caiu para 82 (41 de cada cor). Foram 09 colisões efetivas 06 não efetivas, e portanto, 09 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 prá 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....prá 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 50 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...hummm, 1 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 prá quanto?...faça uma estimativa!

CES: ...Acho que vai prá uns 48%...

TT: _____

P:....saiu...1 preta e1 vermelha, colisão efetiva.

ISA:...tira as duas.....coloca 1 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 prá uns 45%...

TT: _____

P:....saiu duas preta,....sem reação então!.

CES: isso...

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

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

TT: _____

P:...1 preta e 1 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 (9 de cada cor), ou seja, 9 colisões efetivas e 6 não efetivas. Entraram 9 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!

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

CES:.... vai prá uns 31%...

P:...ok.. obrigado

Para fazer a análise dessas e das demais entrevistas levamos em conta o que os estudantes responderam nos pré-testes e no questionário aplicado durante o pós-teste, momentos antes da entrevista final. Todas as repostas foram classificadas cruzando-se os dados colhidos e categorizando as semelhanças entre as mesmas. No capítulo seguinte, o de número 04, apresentamos essas considerações e tentamos ponderar acerca de nossas conclusões, tanto as mais genéricas de cunho quantitativo, quanto as mais específicas, de natureza qualitativa e que estão intimamente relacionadas com nossos objetivos iniciais.

Capítulo 04

Neste capítulo discutimos as reflexões e as análises realizadas, com o objetivo maior de aproximar as idéias dos estudantes das nossas próprias, ou seja, de testarmos nossas hipóteses acerca do envolvimento entre a “*teoria cinética*” e a noção de “*acaso*” e “*probabilidade*”. Mostraremos as categorizações e as conclusões finais a que chegamos baseado na coleta de dados e suas interpretações. A análise dos resultados dos três pré-testes e do pós-teste (que envolveu um questionário com questões abertas e semi-abertas e a entrevista/teste final) inicialmente tinha como objetivo, responder às questões principais da pesquisa, formuladas de antemão:

- 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 ?

Entretanto, durante o processo de reflexão e análise, identificamos alguns outros aspectos, relacionados à aprendizagem do modelo cinético de colisões e que julgamos relevantes. Descreveremos neste capítulo essas reflexões e esses aspectos emergentes, dentro da proposta de responder às questões iniciais.

4.1 A noção de probabilidade e acaso nos estudantes investigados

A escolha dos pré-testes foi feita de maneira tal que pudéssemos identificar a atuação, segundo nosso referencial teórico (o trabalho de Piaget & Inhelder, de 1951, sobre a gênese da

noção de acaso em crianças), das funções cognitivas e operatórias que permitem aos sujeitos da pesquisa identificar, raciocinar, abstrair e, principalmente, generalizar as funções de probabilidade e a noção de acaso num evento ou fenômeno. O primeiro teste buscou identificar a presença dos esquemas operatórios que compreendem o processo de “mistura”. De acordo com Piaget & Inhelder (1975), isso se dá por volta dos 11 até os 14 anos. Portanto, como nossos sujeitos estavam na faixa etária dos 16 aos 19, era de se esperar que todos compreendessem o processo de mistura aleatória, já que para eles, esse tipo de evento é assimilado por um esquema operatório que integra as permutações devido à interferência das trajetórias. Para quase todos os 15 estudantes entrevistados a percepção de que a mistura das bolinhas (de cores diferentes) iria ocorrer, a partir do movimento de brassagem efetuado, ficou bem caracterizada em suas respostas, conforme mostramos a seguir:

P: *...você acha que vai ocorrer mistura (das bolinhas) nos dois lados do separador da caixa ?*

MAR (17): *...eu acho que tem (sic) a possibilidade das bolinhas se misturarem...*

THI (16): *...sim, vai haver mistura...*

VIN (17): *....acredito que vai haver mistura...*

AMA (17): *...sim,... elas (as bolinhas) vão se misturar...*

ORL (18): *...acho que vai (misturar)...*

LEV (17): *....ah! eu acho que depende, né?...acho que pode...*

LEA (19): *...vão...pode misturar sim....*

THA (19): *...sim, pode sim...*

DIE (17): *....acho que não, se as bolinhas forem reto.....*

CRI (18): *....vai misturar bem pouquinho...*

CES (17): *...acho que sim...*

ISA (17): *....sim, pode...*

IGO (17): *.. a chance existe (de mistura), depende da força com que você oscilar...*

BRU (18):...*acho que sim, pode sim...*

RAF (17):...*pode...*

Num segundo momento, durante o desenrolar do experimento, os alunos foram questionados também sobre a influência da quantidade de bolinhas de gude (aumento de 4 para 6, em cada lado do separador da caixa), e se esse fato estaria relacionado à chance das bolinhas se misturarem.

P:...*você acha que o fato de aumentarmos a quantidade de bolinhas, aumenta a chance de ocorrer mistura entre elas?*

MAR (17):...*aumenta...*

THI (16):...*aumenta...*

VIN (17):....*não interfere...*

AMA (17):...*aumenta...tem mais chance (de misturar)...*

ORL (18):...*vai aumentar...é! ...deve aumentar sim...*

LEV (17):....*aumenta...*

LEA (19):...*eu acho que não muda a chance, não tem nada a ver (sic)...*

THA (19):...*não muda...*

DIE (17):....*acho que não aumenta, porque as bolinhas vão colidir mais.....*

CRI (18):....*eu acho que sim, aumenta...*

CES (17):...*vai aumentar...é!...deve aumentar sim...*

ISA (17):*sim (aumenta)...*

IGO (17):.. *deixa eu ver...a mesma chance, né? (não muda)*

BRU (18):...*não...não muda...*

RAF (17):...*acho que sim, aumenta...*

Segundo Piaget & Inhelder (1975), os sujeitos interpretam o fenômeno de mistura aleatória como um sistema de permutações variadas nas quais as trajetórias das bolinhas durante o lançamento definem as interações e a troca de posicionamento final. Essa permutação aumenta gradativamente com a multiplicação das oscilações da caixa (brassagens). Nesse estágio de desenvolvimento cognitivo os alunos conseguem perfeitamente manifestar, por generalização, a existência da repartição do conjunto de bolinhas, antecipando a dispersão relacionada ao movimento (trajetória) e aos choques que podem ocorrer em qualquer ponto da extremidade oposta ao da oscilação. Essa progressão de raciocínio caminha, segundo nossos referencias, simultaneamente à observação, cada vez que ocorre mistura dos itinerários, que por sua vez depende da quantidade de choques, os quais dependem da força do lançamento e do número total de bolinhas (Piaget & Inhelder, 1975, p. 48-49). O que há de mais interessante a observar no caso dos alunos entrevistados, é que todos fizeram “*generalizações*” para o experimento, ou seja, concluíram que o aumento das brassagens incrementaria a mistura das bolinhas. No entanto, a pergunta sobre se haveria ou não (e quanto, se houvesse) a chance de todas elas (de mesma cor) retornarem aos seus lados de origem ou todas elas (de mesma cor) retornarem para o lado oposto ao que estavam, resultou em respostas que se revelaram muito distantes do que a lei estatística prevê. Alguns alunos demonstraram, ao responder sobre essa indagação, que não trabalham com o que Piaget chama de noção dos “*grandes números*”, ou seja, se a repetição aleatória do fenômeno não for feita um número muito elevado de vezes a generalização do raciocínio (que também requer um alto nível de abstração) fica comprometida. Mostramos alguns exemplos a seguir.

P: *...você acha que existe a chance, com a continuidade dos lançamentos, das bolinhas (de mesma cor) retornarem ao seus locais de origem?*

MAR (17): *...sim, existe a chance...eu acho que é pequena...*

THI (16): não soube responder

VIN (17):....*existe sim, mas precisa de alguns lançamentos...*

AMA (17):...*ah! existe a chance...mas é muito difícil...*

ORL (18):...*a possibilidade existe, mas...acho que é muito pequena...*

LEV (17):....*existe...mas é pequena, vai precisar (sic) de muitos lançamentos...*

LEA (19):...*ah existe, mas deve ser muito difícil...acho que depende de muitos lançamentos, talvez milhares...*

THA (19):...*sim, claro que existe...mas acho que nem dá pra calcular quantos (lançamentos)*

DIE (17):....*acho que sim, mas deve ser difícil.....*

CRI (18):....*acho que não...muito difícil!*

CES (17):...*acho que existe, mas é muito pequena...*

ISA (17):*apesar de remota, acho que existe a chance...*

IGO (17):.. *a chance há, né (sic)...mas é pequena...*

BRU (18):...*sim, claro...mas precisa de muitos (lançamentos)*

RAF (17):...*sim, acho que sim, existe...*

A respeito do teste em que os alunos eram solicitados a desenhar as gotas iniciais de uma chuva que principiava a cair sobre um quintal imaginário, foram obtidos desenhos quase todos muito semelhantes (pedimos que desenhassem as 20 primeiras gotas, e onde elas cairiam). No desenho mostrado a eles havia uma folha em branco, dividida em quatro partes iguais, representando os quadrantes desse quintal. Aqui a idéia de Piaget, da qual emprestamos o teste, era checar o desenvolvimento da idéia de distribuição uniforme casual (conceito de equiprobabilidade). Conforme descrito no trabalho de Piaget, assim como em nossos testes, foi preciso uma dose maior de atenção para perceber aquilo que o sujeito investigado atribuía ao acaso e aquilo que ele julgava ser devido a uma relação não causal. Na verdade, é justamente essa dicotomia entre o que é aleatório e o que não é, que constitui a ocasião mais

freqüente das intervenções da intuição das probabilidades, presente em seus esquemas operatórios. Por isso, cabe ressaltar as distribuições representadas nos desenhos de RAF (17), BRU (18), IGO (17), CES (17), DIE (17), ORL (18), MAR (17), THA (19) e THI (16) que podemos agrupar numa mesma categoria, a dos que entendem que a chuva molha apenas uma pequena região do quintal (no centro as vezes, na borda as vezes ou apenas num dos quadrantes as vezes), pelo menos em relação às primeiras 20 gotas. Não se pode então, atribuir a estes sujeitos, a maioria dos que entrevistamos (60%), a noção exata de distribuição uniforme e de proporção, já que apenas intuíram a idéia de relação causal (o que teria causado a chuva apenas numa parte do quintal?). Mas, de todo modo, os que colocaram as gotas em vários pontos do quintal, espalhadas por todos os quadrantes, assumiram a idéia de que o acaso superou a causa, e, nesses casos, segundo Piaget & Inhelder (1975), houve uma aproximação bem afinada entre os mecanismos indutivos e o acabamento da noção de distribuição fortuita. Essa seria uma segunda categoria, onde os agruparíamos, ou seja, os que intuem a idéia de distribuição progressiva.

Sobre o teste de permutação, como já citamos no capítulo anterior, todos os alunos entrevistados conseguiram calcular, de maneira correta, as quantidades possíveis para arranjar as seis cartas de cartolina onde estavam impressas as letras **A, B, C, D, E** e **F**. Numa progressão, passando de duas até as seis cartas citadas, eles calcularam, sem problemas aparentes, os valores das permutações possíveis, utilizando a noção de fatorial ($n!$).

4.2 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 citamos no capítulo

anterior, 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 & Galiazzi (2003). Conforme já descrevemos no capítulo anterior, 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, 2003; Moraes & Galiazzi, 2003b; Moraes, 2003; Moraes & Galiazzi, 2005; Moraes, 2005). Da nossa leitura, unitarização, desconstrução e agrupamento, respectivamente, emergiram três categorias de respostas em relação ao nível de apropriação e formação de conceitos acerca do tópico *Cinética Química*, tema do questionário. 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 (sic) 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...*

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 categorias 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 formam o produto...*

A terceira categoria inclui as respostas e esquemas dos alunos que dominam o conteúdo e representam corretamente o modelo cinético aceito cientificamente. Conseguem articular os significados e estabelecer as relações entres 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...*

Essa reflexão, e as categorizações principalmente, nos permitiram o acesso àquilo que diversas outras pesquisas já apontaram no ensino de Ciências, no nível médio, ou seja, que os estudantes continuam concluindo o curso (no Ensino Médio) com muitas deficiências no que se refere ao nível de apropriação da linguagem científica, aos conceitos que permitiriam uma modelagem mais bem acabada e à representação microscópica dos fenômenos, caso da Química especialmente.

4.2.1 A necessidade de outras categorias

Achamos interessante, sob o ponto de vista investigativo, interligar/relacionar os resultados dos testes/entrevistas/questionário obtidos e elaboramos então outras categorias de análise, colocando parte desses resultados numa tabela, cujos moldes foram extraídos do trabalho de Jun (2000). Essa tabela, que é mostrada mais adiante (Tabela 02), foi construída a partir do cruzamento e da interpretação dos resultados obtidos nos pré e pós-testes (incluindo aí o questionário semi-estruturado). 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 & 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**, enquadrou 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 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/modelos envolvidos na Teoria Cinética das Colisões (53% dos entrevistados foram incluídos nessa categoria).

Legendas da Tabela 02*** 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

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	DPN	NÃO
RAF (17)	DPN	ND	DTR	DPN	DPR	NÃO

Tabela 02

(Categorização das respostas dos alunos em relação à vinculação com suas representações para o modelo cinético de colisões)

4.3 Considerações Finais

Na análise final da última entrevista, onde 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 colisão efetiva sobre o total de colisões acontecidas, considerando-se ambas (efetivas e não efetivas) como equiprováveis num conjunto finito de repetições (tentativas), embora para este tipo de abordagem esses dois tipos de restrições possam ser retiradas. Para o conjunto de tentativas estabelecidas para cada estudante investigado, pudemos listar algumas características interessantes com relação ao experimento, como as que se seguem:

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 variou 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 principalmente ao fato das 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, que, mesmo tendo sido propostos por Piaget & Inhelder há mais de 50 anos, adaptados ao nosso trabalho, conseguiram cumprir sua função investigativa dentro das nossas expectativas.

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:

I) Esse dispositivo não é o mais apropriado para se lidar com o conceito de velocidade de reação. Vejamos porque. 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 seqüência)? Cem por cento, correto? E, se 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 seqüência). Qual seria a chance agora, de ocorrer uma colisão efetiva? 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 (estático¹⁶) e um evento temporal (dinâmica das colisões), do qual o experimento de Piaget & Inhelder não consegue dar conta. Estes dois eventos são inseparáveis e sua interdependência fica explícita na expressão da velocidade das reações (equação 8, p. 93), 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

¹⁶ Na verdade, a Teoria das Probabilidades não envolve apenas, necessariamente, situações **ESTÁTICAS**. Podemos citar, a título de exemplo, as simulações envolvendo “*Dinâmica Molecular*”. O fundamento para a simulação de Dinâmica Molecular é o conhecimento da equação do movimento para o sistema considerado. O algoritmo de um programa de Dinâmica Molecular se baseia na solução numérica destas equações de movimento fornecendo uma trajetória (coordenadas e momentos conjugados em função do tempo) do sistema sob estudo. Escolhendo o passo de integração, a resolução temporal e a extensão da trajetória podem ser adaptadas aos eixos de relação temporal para os processos dinâmicos. A partir da trajetória, propriedades de equilíbrio e grandezas dinâmicas podem ser calculadas num programa de Dinâmica Molecular, que apresenta, portanto, um caráter não-determinístico (probabilístico). A grande maioria das interações no sistema considerado conduzem a uma dinâmica não-linear causada pela imprevisibilidade das trajetórias (Stassen, 2007).

nos atermos apenas ao evento probabilístico em si (as colisões e o comportamento aleatório das partículas numa reação).

III) Um outro tipo de limitação que também está relacionada às condições da simulação realizada, é o cálculo da probabilidade (para 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 efetiva¹⁷ (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 visualização 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 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 (veja foto à página 75). Seria uma alternativa à utilização do reator fechado (caixa preta) com as

¹⁷ A escolha sobre como as bolinhas seriam retiradas do saco fechado (simulando um reator) se inspirou muito nos experimentos que Piaget & Inhelder (1975) descrevem em seu livro, mas talvez, se tivéssemos realizado o experimento fazendo a retirada simultânea das mesmas os resultados fossem mais próximos do modelo cinético cientificamente aceito.

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, podemos afirmar, com base nas transcrições e nas respostas dos questionários com os sujeitos de nossa investigação, que existe uma grande possibilidade dos alunos 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. In: Dominique Lecourt (org.) *Epistemologia: trechos escolhidos* (p. 214). Rio de Janeiro: Zahar, 1983.
- _____. *A filosofia do não*. Lisboa: Editorial Presença, 1991.
- _____. *A formação do espírito científico*. São Paulo: Contraponto, 1996. (primeira edição em francês de 1938).
- BATANERO, C. Razonamiento probabilístico em la vida cotidiana: um desafio educativo. In P. Flores y J. Lupiáñez (Eds.), *Investigación en el aula de Matemáticas, Estadística y Azar*. Granada: Sociedad de Educación Matemática Thales. ISBN: 84-688-0573-4, CD ROM, 2006. Universidad de Granada: Espana, 2004.
- BARDIN, L. *Análise de Conteúdo*. Lisboa: Edições 70, 1977.
- BELTRAN, N. O. Idéias em Movimento. *Química Nova na Escola*, n. 05, p. 14-17, 1997.
- BIANCHI, J. C. A.; ALBRECHT, C. H.; DALTAMIR, J. M. *Universo da Química*, São Paulo: FTD. Volume único, 2005.
- BOGDAN, R., BIKLEN, S. K. *Investigação em Educação: uma introdução à teoria e aos métodos*. Porto: Porto Ed., 1994.
- BOROVCHNIK, M.; PEARD, R. Probability. In: A. J. Bishop et al. (eds.), *International Handbook of Mathematics Education* (p. 239-287). Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 1996.
- BOROVCHNIK, M.; BENTZ, H. J.; KAPADIA, R. A probabilistic perspective. In: R. Kapadia & M. Borovcnik (eds.), *Chance encounters: Probability in Education* (p.27-71). Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 1991.
- BRASIL, Ministério da Educação, Parâmetros Curriculares Nacionais do Ensino Médio (PCN), 1999. Disponível em: <<http://www.mec.gov.br>> Acesso em: 21 out. 2006.
- CANTO, E. L.; PERUZZO, F. M (TITO) *Química na abordagem do cotidiano*. São Paulo: Moderna, v. 02, 2003.
- CHASSOT, A. *Alfabetização Científica*. Ijuí(RS): Editora da UNIJUI, 2003.
- COUTINHO, Q. S. C.; CORDANI, L.; LOPES, C. A. E. *O Ensino de Probabilidades no currículo da Escola Básica*. Anais do VII Encontro Paulista de Ensino de Matemática (EPEM): Matemática na escola, conteúdos e contextos, FE/USP, São Paulo, jun. 2004.
- COVRE, G. J. *Química, o homem e a natureza*. São Paulo: FTD, v. 02, 2000.

DAHMEN, S. R. A obra de Boltzmann em Física. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, v. 28, n. 03, p.281-295, 2006.

DAVIES, C. H. Development of the probability concept in children. *Child Development*, v. 36, p. 779-788, 1966.

DONGO MONTOYA, A. O. *Piaget: imagem mental e construção do conhecimento*. São Paulo: Editora da UNESP, 2005.

_____. *Implicações teóricas e educacionais da pesquisa psicogenética sobre o conhecimento*. In: Anais do I Encontro Nacional de Professores do PROEPRE, Águas de Lindóia (SP), p. 18, 2001

_____. *Representação Imagética e construção do pensamento*. Filosofia, sociedade e educação (Marília), v. 2, n. 2, p.135-50, 1998.

EDWARDS, D. & MERCER, N. *Common Knowledge - The development of understanding in the classroom*. London: Routledge, 1987.

FAGUNDES, L. C. *A psicogênese do conceito de superfície unilateral*. Dissertação de mestrado, FAGED, 1977.

FALK, R. A closer look at the probabilities of the notorious three prisoners. *Cognitions*, v. 43, p.197-223, 1992.

FALK, R.; LEVIN, I. A potential for learning probability in young children. *Educational Studies in Mathematics*, v. 11, p.181-204, 1980.

FELTRE, R. *Fundamentos da Química*. São Paulo: Moderna, 1998.

FERNANDES, J. A. S. *Intuições e aprendizagem de probabilidades: uma proposta de ensino de probabilidades no 9.º ano de escolaridade*, Tese (doutorado em Educação), Universidade do Minho, Braga (Portugal), 1999.

FISCHBEIN, E. *The intuitive sources of probabilistic thinking in children*. Dordrecht: D. Reidel Publishing Company, 1975.

FISCHBEIN, E.; BARBAT, I.; MÎNZAT, I. Primary and secondary intuitions in the introduction of probability. In: E. Fischbein, *The intuitive sources of probabilistic thinking in children* (Appendix I, p.138-155). Dordrecht: D. Reidel Publishing Company, 1975.

FISCHBEIN, E.; PAMPU, I.; MÎNZAT, I. The child's intuition of probability. In E. Fischbein, *The intuitive sources of probabilistic thinking in children* (Appendix II, p. 156-174). Dordrecht: D. Reidel Publishing Company, 1975.

FISCHBEIN, E.; PAMPU, I.; MÎNZAT, I. Comparison of ratios and the chance concept in children. In E. Fischbein, *The intuitive sources of probabilistic thinking in children* (Appendix III, p. 175-188). Dordrecht: D. Reidel Publishing Company, 1975b.

FONSECA, M. R. M. *Completamente Química*. São Paulo: FTD, v. 02, 2001.

GODINO, J. D.; BATANERO, M.; CAÑIZARES, M. J. *Azar y Probabilidad*. Madrid: Síntese, 2006.

GOLDBERG, S. Probability judgments by preschool children: task conditions and performance. *Child Development*, v. 37, 157-168, 1966.

GRECA, I. M.; dos 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*, v. 10, n. 01, março de 2005.

GREEN, M. G. Structure and sequence in children's concepts of chance and probability: a replication study of Piaget and Inhelder. *Child Development*, v. 49, p. 1045-1053, 1978.

HACKING, I. *The emergence of Probability*. London: The Cambridge University Press, 1975.

HAWKINS, A.; KAPADIA, R. Children's conceptions of probability: a psychological and pedagogical review. *Educational Studies in Mathematics*, v. 15, p.349-377, 1984.

HOEMANN, H. W.; ROSS, B. M. Children's understanding of probability concepts. *Child Development*, v. 42, p. 221-236, 1971.

HURTADO, N. H.; COSTA, J. F. S. *A probabilidade no Ensino Médio: a importância dos jogos como ferramenta didática*. Anais da Conferência Internacional: Experiências e Perspectivas do Ensino da Estatística – Desafios para o século XXI, Florianópolis, set. 1999.

IUPAC, Compêndio de Terminologias, disponível em:

<www.iupac.org/publications/compendium/index.htm> Acesso em: 20 fev. 2007.

JAPIASSU, H.; MARCONDES, D. *Dicionário Básico de Filosofia*, Rio de Janeiro: Zahar, 1996.

JUN, L. *Chinese Student's Understanding of Probability*. Thesis, National Institute of Education of Nanyang Technological University, Nanyang (China), 2000.

JUSTI, R. S.; MONTEIRO, I. G. Analogias em livros didáticos de química brasileiros destinados ao ensino médio. *Investigações em Ensino de Ciências*, v. 05, n. 02, 2000.

JUSTI, R. S.; RUAS, R. M. Aprendizagem de Química: reprodução de pedaços isolados de conhecimento? *Química Nova na Escola*, n. 05, p. 24-27, 1997.

KOTZ, J. C.; TREICHEL, P. Jr. *Química & Reações Químicas*. Rio de Janeiro: LTC, v. 02, 1998.

KUZMAK, S. D.; GELMAN, R. Young children's understanding of random phenomena. *Child Development*, v. 57, p. 559-566, 1986.

LAJOLO, M. Livro didático: um manual do usuário. *Em aberto*, v.16, n. 69, p. 03-09, jan-mar. 1996.

LAVILLE, C.; DIONNE, J. *A construção do saber: manual de metodologia da pesquisa em ciências humanas*. Belo Horizonte: Ed. da UFMG, 1999.

LEAKE, L. Jr. The status of three concepts of probability in children of seventh, eighth and ninth grades. *The Journal of Experimental Education*, v. 34, n. 01, p. 78-84, 1965.

LECOUTRE, M. P. Cognitive models and problem spaces in “purely random” situations. *Educational Studies in Mathematics*, v. 23, n. 06, 1992.

LEMBO, A. *Química, realidade e contexto*. São Paulo: Ática, v. 02, 1999.

LIMA, J. F. L.; PINA, M. S. P. ; BARBOSA, R. M. N. ; JÓFOLLI, Z. M. S. A Contextualização no Ensino de Cinética Química. *Química Nova na Escola*, n. 11, p. 26-29, 2000.

LOGUERCIO, R. Q.; SAMRSLA, V. E. E.; DEL PINO, J. C. A dinâmica de analisar livros didáticos com os professores de Química. *Química Nova*, v. 25, n. 04, p. 557-562, 2001.

LOPES, C. A. E. *A Probabilidade e a Estatística no Ensino Fundamental: uma análise curricular*. Dissertação de Mestrado. Campinas: FE-UNICAMP, 1998.

LOPES, C. A. E.; MORAN, R. C. C. P. A estatística e a probabilidade através das atividades propostas em alguns livros didáticos brasileiros recomendados para o Ensino Fundamental. *Anais da Conferência Internacional: Experiências e Perspectivas do Ensino da Estatística – Desafios para o século XXI*, p. 167-174, Florianópolis, set. 1999.

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

MACHADO, A. H.; MOURA, A. L. A. Concepções sobre o papel da linguagem no processo de elaboração conceitual em Química. *Química Nova na Escola*, n. 02, p. 27-30, 1995.

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

MATALON, B. Epistemologia das Probabilidades. In: J. Piaget (org.), *Lógica e conhecimento científico*. Porto: Livraria Civilização-Editora, 1980.

MEGID NETO, J. , FRACALANZA, H. O livro didático de Ciências: problemas e soluções. *Ciência & Educação*, v. 9, n. 2, p. 147-157, 2003.

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: *V Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências (V ENPEC)*, Bauru, dez. 2005.

_____. *Mergulhos discursivos: análise textual qualitativa entendida como processo integrado de aprender, comunicar e interferir em discursos*. Manuscrito não-publicado, Porto Alegre: Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul, 2003.

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

_____. Tomando Conta do ambiente em que se vive: Aprendizagem e apropriação de discursos pela linguagem. In: *II Encontro Internacional de linguagem, cultura e cognição: reflexões para o ensino*, Belo Horizonte: Faculdade de Educação da UFMG, 2003b.

_____. Análise textual discursiva: processo reconstrutivo de múltiplas faces. *Ciência & Educação*, v. 12, n. 01, p. 117-128, 2006.

MORAES, R.; GALIAZZI, M. C.; 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: *V Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências (V ENPEC)*, Bauru, dez. 2005.

MONTEIRO, I. G.; JUSTI, R. S. Analogias em livros didáticos de química brasileiros destinados ao Ensino Médio. *Investigações em Ensino de Ciências*, v. 5, n. 02, p. 48-79, 2000.

MORTIMER, E. F. A evolução dos livros didáticos de Química destinados ao ensino secundário. *Em aberto*, v. 07, n. 40, 1988.

_____. *Linguagem e Formação de Conceitos no Ensino de Ciências*, Belo Horizonte: Ed. da UFMG, 2000.

_____. Concepções de estudantes sobre reações químicas. *Química Nova na Escola*, n. 02, novembro de 1995.

NEHMI, V. *Química*. São Paulo: Ática, 1996.

NOVAIS, V. L. D. *Química*. São Paulo: Atual, v. 02, 1993.

ORTON, R. E. Using subjective probability to introduce probability concepts. *School Science and Mathematics*, v. 88, n.02, p. 105-112, 1988.

PAMPLONA, A. S. *A história no ensino da Estatística no contexto da educação matemática*. Anais do 1º SPHEM - Seminário Paulista de História e Educação Matemática, IME/USP, São Paulo, out. 2005.

PAPARISTODEMOU, E.; NOSS, R.; PRATT, D. Exploring in sample space: developing young children's knowledge of randomness. In: *Proceedings of the Sixth International Conference on Teaching Statistics*, Voorburg, The Netherlands: International Statistics Institute, CD ROM, 2002.

PIAGET, J. *A construção do real na criança*. Rio de Janeiro: Zahar, 1975. (primeira edição em francês de 1937)

_____. *A formação do símbolo na criança*. Rio de Janeiro: Zahar, 1975b. (primeira edição em francês de 1956)

_____. *A epistemologia genética: sabedoria e ilusões da filosofia*. São Paulo: Abril Cultural, 1978. (primeira edição em francês de 1950)

_____. (org.) *Lógica e conhecimento científico*. Minho (Portugal): Porto Editores, 1980.

_____. *Biologia e Conhecimento*. Petrópolis: Vozes, 1967.

PIAGET, J.; INHELDER, B. *A imagem mental na criança: estudo sobre o desenvolvimento das representações imagéticas*. Porto: Livraria Civilização, 1977. (primeira edição em francês de 1966)

_____. *The origin of the idea of Chance in children*, New York: Norton & Company Publishers, 1975. (primeira edição em francês de 1951)

_____. *A origem da idéia do acaso na criança*. Rio de Janeiro: Record, 1975b. (primeira edição em francês de 1951)

_____. *O desenvolvimento das quantidades físicas na criança*, Rio de Janeiro: Zahar, 1971. (primeira edição em francês de 1962)

ROSS, B. M. Probability concepts in deaf and hearing children. *Child Development*, v. 37, p. 917-927, 1966.

ROTUNNO, S. A. M. *O estudo da Estatística e Probabilidade nos currículos escolares*. Anais do VI Encontro Brasileiro de Estudantes de Pós-Graduação em Educação Matemática, UNICAMP, Campinas, SP: Graf. FE, 2002.

ROWELL, J.A. Piagetian Epistemology: Equilibration and the Teaching of Science. *Synthese*, n. 80, p. 141-162, 1989.

RUSSEL, J. B. *Química Geral*. São Paulo: Makron Books, v. 02, 1994.

SÁ, M. B. Z. *O enfoque Ciência, Tecnologia e Sociedade nos textos sobre radiatividade e energia nuclear nos livros didáticos de Química*, dissertação de mestrado, UEM, Maringá, 2006.

SABADINI, E. ; BIANCHI, J. C. A. Ensino do conceito de equilíbrio químico: uma breve reflexão. *Química Nova na Escola*, n. 25, p. 10-13, 2007.

SANTOS, W. L. P.; MOL, G. S. *Química e sociedade*. São Paulo: Nova Geração, 2005.

SANTOS, W. L. P. , SCHNETZLER, R. P. Ensino de Química para a cidadania: Um novo paradigma educacional. In: *Educação em Química*. Ijuí: Unijuí, p. 119-144, 2003.

SCHNETZLER, R. P. *O tratamento do conhecimento químico em livros didáticos brasileiros para o ensino secundário de Química de 1870 a 1976; análise do capítulo de Reações Químicas*, dissertação de mestrado, UNICAMP, Campinas, 1980.

SCHNETZLER, R. P. Um estudo sobre o tratamento do conhecimento químico em livros didáticos brasileiros dirigidos ao ensino secundário de Química de 1875 a 1978. *Química Nova*, v. 4, n. 1, p. 6-15, 1981.

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*, n. 08, p. 31-35, 1998.

SCHOLZ, R.W. *Cognitive strategies in stochastic thinking*. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 1987.

SILVA, E. R.; NÓBREGA, O. S.; SILVA, R. H. *Química, transformações e energia*. São Paulo: Ática, v. 02, 2001.

STASSEN, H. *Simulação de Dinâmica Molecular: técnicas e aplicações a líquidos*. Mini-curso promovido pelo departamento de Físico-Química, Instituto de Química da UFRGS, Porto Alegre, 2006. Disponível em: <http://www.sbf1.sbfisica.org.br/eventos/ebec/vi/programa/mc1.htm> Acesso em: 07 jun. 2007.

TIEDEMANN, P. W. Conteúdos de Química em livros didáticos de Ciências. *Ciência & Educação*, v. 5, n. 2, p. 15-22, 1998.

TRINDADE, D. F.; PUGLIESE, M. *Química Básica Teórica*. São Paulo: Cone, 1992.

TROMPLER, S., "Statistics and Probability before the age of 15 at Decroly School", *Teaching Statistics*, v. 4, n. 01, p. 5-8, January 1982.

USBERCO, J.; SALVADOR, E. *Química*, São Paulo: Saraiva, volume único, 2002.

UTIMURA, T. Y.; LINGUANOTO, M. *Química Fundamental*, São Paulo: FTD, volume único, 1998.

VIGOTSKY, L. S. *A formação social da mente*. São Paulo: Martins Fontes, 2003.

YOST, P. A.; SIEGEL, A. E.; ANDREWS, J. M. Nonverbal probability judgments by young children. *Child Development*, v. 33, p. 769-780, 1962.

WAY, J. The development of young children's notions of probability. In: *European Research in Mathematics Education III*, Proceedings of the Third Conference of the European Society for Research in Mathematics Education, (Bellaria) Italy, 28/ February- 03/ March, 2003.

ANEXO I

Transcrições das Entrevistas / Pré-Teste I (Teste de mistura/brassagem)

1) Entrevista com AMA (17):

Situação inicial – 4 bolinhas azuis e 4 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...*

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

AMA: *acho que vão ficar.....ah....não sei, talvez 3 azuis e 1 branca do lado esquerdo e....1 azul e 3 brancas do lado direito.*

MO: _____

P :...*misturou?*

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

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

AMA: *ficou 4 brancas e 1 azul do lado esquerdo.....e...lá (direito)....3 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...2 azuis e 3 brancas (apontando pro lado esquerdo do separador).....e 2 azuis e 1 branca.*

MO: _____

AMA: *....ah eu não acertei....olha, ficou 1 azul e 2 brancas ...e do outro (lado direito) 3 azuis e 2 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 6 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 4 brancas e 0 azuis...e do outro lado (direito) 6 brancas e 2 azuis.*

MO: _____

AMA: *...nossa*

P: *fala pra mim, como é que ficou?*

AMA: *ficou 3 brancas e 6 azuis.....e do outro (direito).....3 brancas e 0 azuis.*

P: *foram quase todas pro mesmo lado?*

AMA: *...foi [surpresa]*

P: *houve mistura só de uma 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 3 azuis e 2 brancas e....(do outro lado)... 3 azuis e 4 brancas.*

MO: _____

P: *o que deu?*

AMA: *2 azuis e 3 brancas.....e (do lado esquerdo) 4 azuis e 3 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 6 brancas e as 6 azuis pros lados onde estavam?*

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

P: *...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 4 lançamentos...*

P: *e as 6 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 20.*

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

AMA: *...a partir dessa posição?*

P: *sim...*

AMA: *então agora vão ficar....2 azuis e 5 brancas (lado esquerdo)...e do outro 4 azuis e 1 branca.*

MO: _____

P: *como ficou?*

AMA: *...ficaram 3 brancas e 3 azuis.....do outro lado também (direito)...nossa! [novamente, parece surpresa]*

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

AMA: *....é...ficou 3 de cada cor.....de cada lado...[sorrindo bastante]*

P: *....você viu?...as bolinhas ficaram intercaladas...3 brancas.....3 azuis, e do outro lado...3 brancas e 3 azuis....*

AMA: *...é mesmo.....que legal.*

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

AMA: *...tá bom.*

2) Entrevista com THI (16):

Situação inicial – 4 bolinhas azuis e 4 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 1 azul e 3 brancas (lado esquerdo), e 3 azuis e 1 branca...(do outro)

MO: _____

P: quanto ficou do lado aí (esquerdo)?

THI: ...1 azul e 4 brancas, e do outro 3 azuis e 0 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: ...1 azul e 4 brancas desse lado (esquerdo) e...3 azuis e 0 brancas do outro.

MO: _____

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

THI: ...a mesma coisa do anterior...ué, não houve mudança...1 azul e 4 brancas (esquerdo) e 3 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 6 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: ...4 brancas e 2 azuis (lado esquerdo) e... 2 brancas e 4 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) 5 brancas e 0 azuis (E) e 1 branca e 6 azuis (D).

P: faça mais uma previsão...

THI: ...4 brancas e 1 azul (E)...e 2 brancas e 5 azuis (D)..

MO: _____

P: olha... que coisa!

THI: voltaram as 6 brancas pra sua posição original...e as 6 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: *...2 brancas e 2 azuis (E) e 4 brancas e 4 azuis (D).*

MO: _____

P: *...aumentou?*

THI: *...ficou 5 brancas e 3 azuis (E) e 1 branca e 3 azuis (D)...mudou, né? Mas não acho que aumentou...*

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

3) Entrevista com MAR (17):

Situação inicial – 4 bolinhas azuis e 4 brancas em cada lado da divisória da caixa.

P: *Vamos fazer o movimento, tá! O que você acha que vai acontecer quando a caixa retornar à posição original?*

MAR: *...eu acho que tem (sic) a possibilidade das bolinhas se misturarem...*

P: *...em que proporção?*

MAR: *como assim?*

P: *...tipo assim, quantas você acha que ficarão de cada lado? Veja bem, isso é apenas uma previsão...tá?...não se preocupe com o resultado...*

MAR: *...3 brancas e 1 azul (lado esquerdo) e 1 branca e 3 azuis (do outro lado).*

MO: _____

P: *...o resultado foi.....3 brancas, 0 azuis, e do lado esquerdo 1 branca e as 4 azuis voltaram (para o lado onde já estavam), certo?*

MAR: *...é*

P: *...segundo lançamento, você acha que essa mistura tende a aumentar ou a diminuir, por exemplo, desse lado (apontando para o lado esquerdo)?*

MAR: *... eu acho que vai aumentar pra esse lado (mostra o lado direito do separador)*

P: *...você acha que elas não voltam para o lado esquerdo?*

MAR: *...não! [parece ter certeza]*

MO: _____

P: *...aumentou a mistura ?*

MAR: *...aumentou...*

P: *...ficaram 2 brancas e 0 azuis (lado esquerdo) e 2 brancas e as 4 azuis permaneceram (lado direito)...não é isso?*

P: *...de novo, fazer mais um lançamento outra previsão...*

MAR: *...seguindo o raciocínio, essas (aponta as 4 azuis que insistem em permanecer do mesmo lado) teriam que vir pra cá (mostra o lado esquerdo, sem nenhuma azul)...*

MO: _____

MAR: *...que legal!*

P: *...que ficou lá?*

MAR: *...3 brancas e 2 azuis (esquerdo) e 1 branca e 2 azuis (direito)...*

P: *...você viu que voltou a ter (sic) mistura outra vez ?*

MAR: *ahã...*

P: *agora nós vamos aumentar o número de bolinhas tá?...Nós vamos começar de novo, só que agora vamos botar 2 bolinhas a mais de cada lado...então vamos lá!(com 6 bolinhas de cada lado). O que você acha que vai acontecer em termos de mistura.....vai misturar mais rápido ou o aumento de bolinhas não interfere nos eventos?*

MAR: *...aumenta...*

P: ...previsão agora...

MAR: ...4 brancas e 1 azul (esquerdo) e 2 brancas e 5 azuis (direito)...

MO: _____

P: ficou...4 brancas e 1 azul (lado esquerdo) e 2 brancas e 5 azuis (do outro lado)...faça outra previsão!

MAR:.... 3 brancas e 2 azuis (esquerdo) e 3 brancas e 4 azuis (direito)

MO: _____

P:... saiu 4 brancas e 2 azuis (esquerdo) e 2 brancas e 2 azuis (direito)..muito bom!

P:...uma pergunta mais, você acha que é possível retornar as bolinhas para as posições iniciais...todas as azuis e brancas nas posições de origem...

MAR:.. como assim?

P:....se eu fizer “n” lançamentos....você acha que elas retornam?

MAR:sim existe a chance...

P: ...pequena ou grande essa chance ?

MAR:...eu acho que é pequena... [com ênfase]

P:....ok! muito obrigado, vamos pro outro teste.

4) Entrevista com VIN (17):

Situação inicial – 4 bolinhas azuis e 4 brancas em cada lado da divisória da caixa.

P: ...as bolinhas estão separadas e a caixa tem um balanço, você acha que depois do movimento de oscilação, quando as bolinhas retornarem a esse lado (inicial), elas vão voltar com esse mesmo arranjo que elas têm aí ou vai haver mistura?

VIN:....acredito que vai haver mistura...

P:...faz pra mim aí uma previsão, ou seja, o que você acha que vai ficar (sic) depois do movimento em relação à posição das bolinhas... nesse primeiro lançamento?

VIN: ...vai passar 1 pra cá... (aponta o lado esquerdo)

P:...você acha que ficarão 3B e 0A (E) e 1B e 4A (D)...certo?

MO: _____

VIN:...ficou 1A 3B (E) e 3A e 1B (D) ...

P:...próximo daquilo que você falou, você acha que com o aumento do número de lançamentos a tendência é haver mais misturas ...ou não?

VIN:...vai aumentar...(meio em dúvida)

P:...faça mais uma previsão, para mais um lançamento...veja bem, é apenas uma previsão...

VIN:...1A e 2B (E) e 3A e 2B (D)...

MO: _____

VIN:...continuou igual (não houve mistura dessa vez)

P:...igual ?

VIN:...é...não teve (sic) mudança...

P:...você acha que a mistura irá aumentar ? qual sua previsão agora?

VIN:...3B e 1A (E) e 1B e 3A (D)...

MO: _____

P:...mudou bem, né?...ficou 1A e 0B (E) e 3A e 4B (D)

P: ...agora uma coisa...se eu colocar mais bolinhas, vamos ver, mais 2 bolinhas de cada lado e iniciar novamente, você acha que isso aumenta a chance de haver mistura logo de cara, ou você acha que o número de bolinhas não interfere na mistura?

VIN:...não interfere! [bem convicto]

P: ...então faça uma previsão...

VIN: ...vão passar 2 azuis pro lado das brancas...

P: ...ficariam então 2A e 4B (E) e 2B e 4A (D)

MO: _____

P: ...passou (sic) duas bolinhas brancas mesmo pro outro lado...fala prá mim como ficou.

VIN: ...4B e 1A (E) e 2B e 5A (D)...

P: ...neste primeiro lançamento houve mistura mais rápido,...ou não?

VIN: ...é sim...teve mesmo (sic)...

P: ...você acha que existe a chance, se eu continuar fazendo lançamento, de as bolinhas retornarem às suas posições iniciais?

VIN: ...existe sim..

P: ...quantos lançamentos para isso ocorrer?

VIN: ...alguns...uns 10...talvez [olha pra pesquisador, pedindo aprovação]

P: ... então faça mais uma previsão, vamos lá...vamos lançar de novo..

VIN: ...5B e 1A (E) e 1B e 5A (D)...

MO: _____

P: ...que ficou lá?

VIN: ... 2B e 2A (E) e 4B e 4A (D)...

P: ...vamos fazer mais um último lançamento e depois vamos ao outro teste, tá? Sua previsão...

VIN: ... 3B e 3A (E) e 3B e 3A (D)...

MO: _____

P: ...que deu lá?

VIN: ...4B e 0A (E) e 2B e 6A (D)...

P: ...tá ótimo...obrigado, valeu!

5) Entrevista com ORL (18):

Situação inicial – 4 bolinhas azuis e 4 brancas em cada lado da divisória da caixa.

P: ...vamos fazer a caixa com as bolinhas oscilar, você acha que quando elas voltarem, estarão ocupando as mesmas posições?

ORL: ...não!

P: ...você acha que vai haver mistura, nos dois lados da caixa?...num primeiro lançamento?

ORL: ...acho que vai

P: ...então você vai fazer uma previsão prá mim...

ORL: ...3B e 2A (E) e 1B e 2A (D)...

P: ...se uma das bolinhas cair fora (da caixa) eu volto o lançamento...tá ?

MO: _____

P: ...o que ficou?

ORL: ...4B e 1A (E) e 0B e 3A (D)...

P: ...beleza, então vamos lá, mais uma previsão a partir desse posicionamento...

P: ...veja que desse lado (direito do separador) não houve mistura, ainda...né?

ORL: ...é verdade...acho que 3B e 1A (E) e 1B e 3A (D)...

MO: _____

P: ...como ficaram?...mudou?

ORL: ...2B e 0A (E) e 2B e 4A (D)...

P: ...o que você acha para o próximo lançamento...mais uma previsão...

ORL:...3B e 1A (E) e 1B e 3A (D)...

MO: _____

P:...3B e 1A (E)... humm, não mudou nada, né?

ORL:...é continuou igual....

P:...por que será?

ORL:...mas é ao acaso...né?..

P:...isso...é isso...mesmo...

P:...agora nós vamos aumentar o número de bolinhas, vamos trabalhar com mais duas de cada cor... 6 bolinhas azuis e 6 brancas, tá? A chance de haver mistura nos compartimentos vai aumentar ou o número de bolinhas não interfere?

ORL:...vai aumentar...é deve aumentar sim...

P:...começando de novo, uma previsão prá essa situação...com 6 bolas de cada cor...

ORL:...3B e 1A (E) e 3B e 5A (D)...

MO: _____

P:...essa situação ainda não havia ocorrido em nenhum teste: 4B e 0A (E) e 2B e 6A (D)...

ORL:...é todas as azuis estão do mesmo lado....

P:...é no seu caso, estão ocorrendo vários lançamentos sem que ocorra mistura...

P:...faça mais uma previsão...

ORL:...5B e 1A (E) e 1B e 5A (D)...

MO: _____

P:...o que deu aí?

ORL:...agora misturou dos dois lados: 5B e 3A (E) e 1B e 3A (D)...

P:...quase sua previsão foi totalmente correta...

P:...você acha que, se nós continuarmos lançando, existe a possibilidade de as bolinhas, todas elas, retornarem às suas posições de origem?

ORL:...a possibilidade existe, mas acho que é muito pequena...

P:...prá quantos lançamentos?

ORL:...uns 100 eu acho...

P:...vamos pra uma última previsão...mais um lançamento, então ?

ORL:...4A e 2B (E) e 2A e 4B (D)...

MO: _____

P:...o que ficou?

ORL:...4A e 2B (E) e 2A e 4B (D)...acertei....

P:...é mesmo, mas na verdade, isso não tem muita importância pro nosso teste, mas ok...muito obrigado, então!

6) Entrevista com LEV (17):

Situação inicial – 4 bolinhas azuis e 4 brancas em cada lado da divisória da caixa.

P:... eu vou fazer mexidas aqui (sic), depois de oscilar a caixa, você acha que vai haver misturadas bolinhas nos dois compartimentos?

LEV:...ah! eu acho que depende, né?...

P:...eu perguntei se pode haver mistura ou não?....

LEV:...eu acho que pode...

P:...supondo que possa, faça uma previsão de quantas bolinhas brancas e azuis ficarão de cada lado após um primeiro movimento...

LEV:...3B e 0A (E) e 1B e 4A (D)...

MO: _____

P:...*como é que ficou lá?*

LEV:...*3B e 1A (E) e 1B e 3A(D)...*

P:...*faça uma outra previsão, para um outro lançamento, a partir dessa situação que já temos...*

LEV:...*eu acho que vai misturar de novo...2B e 2A (E) e 2B e 2A(D)...*

MO: _____

P:...*como ficou?*

LEV:...*1A e 1B (E) e 3A e 3B (D)...*

P:...*mais um lançamento, vamos lá...sua previsão...*

LEV:...*2A e 2B (E) e 2A e 2B (D)...*

MO: _____

P:...*ficou?*

LEV:...*é, ficou...2A e 2B (E) e 2A e 2B (D)...*[surpreso]

P:...*agora a gente vai aumentar a quantidade bolinhas, vamos com 6 de cada cor, de ambos os lado, pra situação inicial...volta lá...você acha que pelo fato de termos aumentado o número de bolinhas, a chance de misturar aumenta, diminui ou não depende ?*

LEV:...*aumenta...*

P:...*então faça uma previsão com essas 6 bolas de cada cor...*

LEV:...*4B e 2A (E) e 2B e 4A(D)...*

MO: _____

P:...*e aí ?*

LEV:...*4B e 2A (E) e 2B e 4A (D)...**do jeito que eu falei...*[parece mais surpreso]

P:...*você acha que existe a probabilidade, se agente continuar lançando, de as bolinhas todas voltarem às suas posições de origem?*

LEV:...*existe...*

P:...*é grande ou pequena essa probabilidade?*

LEV:...*pequena...vai precisar de muitos lançamentos...*

P:...*tá ok, faça mais uma previsão então, a partir do que já está aí...*

LEV:...*5B e 1A (E) e 1B e 5A (D)...*

MO: _____

P:...*4 brancas, é isso?*

LEV:...*é...4B e 2A (E) e 2B e 4A (D)...*

P:...*uma última tentativa, mais uma previsão...*

LEV:...*eu acho que vai dar...5B e 1A (E) e 1B e 5A (D)...*

MO: _____

P:...*2B e 2 A (E) e 4B e 4A (D)...*

LEV:...*é isso...*

P:...*tá certo, obrigado por enquanto...*

7) Entrevista com LEA (19):

Situação inicial – 4 bolinhas azuis e 4 brancas em cada lado da divisória da caixa.

P:...*a caixinha tem um separador e eu vou oscilar e voltar pra posição original, você acha que depois do movimento as bolinhas vão se misturar?*

LEA:...*vão...pode misturar sim...*

P:...faça uma previsão, de quantas bolinhas ficarão em cada lado do separador..

LEA:...3B e 1A (E) e 1B e 3A (D)...

P:...se alguma bolinha cair fora da caixa no movimento eu volto e lanço de novo, tá?

MO: _____

P:...como ficou?

LEA:...1B e 0A (E) e 3B e 4A (D)...

P:...não teve mistura do lado esquerdo, você viu ?

LEA:...é mesmo...

P:...a partir dessa posição, faça uma outra previsão...vou lançar de novo...

LEA:...3B e 2A (E) e 1B e 2A (D)...

MO: _____

P:...e aí?

LEA:...2B e 1A (E) e 2B e 3A (D)...

P:...vamos lá, mais uma previsão...sempre a partir das posições que você já tem aí...

LEA:...1B e 1A (E) e 3B e 3A (D)...

MO: _____

P:...como ficou?

LEA:...2B e 1A (E) e 2B e 3A (D)...

P:...agora vamos voltar pra situação inicial e aumentar o número de bolinhas pra 6 de cada...você acha que a partir dessa nova situação a chance de haver mistura aumenta?

LEA:... eu acho que não muda a chance, não tem nada a ver (sic)...

P:...então faça uma nova previsão, agora com essa nova quantidade bolinhas...

LEA:...2B e 3A (E) e 4B e 3A (D)...

MO: _____

P:...como ficamos ?

LEA:...4B e 1A (E) e 2B e 5A (D)...

P:...tivemos mistura então, nos dois lados?

LEA:... é verdade, de primeira...

P:...faça outra previsão então...

LEA:...5B e 2A (E) e 1B e 4A (D)...

MO: _____

P:...e aí?

LEA:... 3B e 1A (E) e 3B e 5A (D)...

P:...outra pergunta....você acha que existe a chance de toda as bolinhas retornarem às suas posições originais?

LEA:...ah existe sim, mas deve ser muito difícil né?

P:...será que precisaria de muitos ou poucos lançamentos para que isso ocorresse?

LEA:...eu acho que muitos, talvez milhares....[fica tentando calcular]

P:...então tá, vamos fazer um último lançamento, faça mais uma previsão...

LEA:...4B e 2A (E) e 2B e 4A (D)...

MO: _____

P:...e aí?...me fala como ficou o arranjo...

LEA:...5B e 2A (E) e 1B e 4A (D)...

P:...legal, muito obrigado...

8) Entrevista com THA (19):

Situação inicial – 4 bolinhas azuis e 4 brancas em cada lado da divisória da caixa.

P:...a caixa tem um separador e ela faz aquele movimento de gangorra, ou seja, as bolinhas vão e voltam, a primeira pergunta então é a seguinte: se agente fizer um lançamento, você acha que pode haver mistura das bolinhas?

THA:...sim...pode sim

P:...a partir da sua resposta, faça pra mim uma previsão de quantas bolinhas ficariam de cada lado da caixa?

THA:...3B e 1A (E) e 1B e 3A (D)...

MO: _____

P:...como ficou?

THA:...1B e 0A (E) e 3B e 4A (D)...

P:...não teve mistura do lado esquerdo?

THA:...não, não teve...será que isso é normal?

P:...você mesmo terá a resposta mais adiante...vamos continuar? Faça mais uma previsão a partir dessa posição que já está aí...

THA:... 0B e 0A (E) e 4B e 4A (D)...

MO: _____

P:...e então?

THA:...2B e 1A (E) e 2B e 3A (D)...

P:...vamos a mais um lançamento...

THA:...3B e 2A (E) e 1B e 2A (D)...

MO: _____

P:...me fala o que deu...

THA:...4B e 1A (E) e 0B e 3A (D)...

P:...agora a gente vai aumentar o número de bolinhas, a partir daí eu queria saber de você, se a chance de haver mistura vai aumentar ou diminuir, considerando que teremos 6 bolinhas de cada cor...nós voltaremos à situação inicial...

THA:...não muda...

P:...então faça uma previsão...para as 6 bolinhas...

THA:...4B e 4A (E) e 2B e 2A (D)...

MO: _____

P:...e então?

THA:...2B e 0A (E) e 4B e 6A (D)

P:...vamos pra mais uma previsão...

THA:...2B e 2A (E) e 4B e 4A (D)...

MO: _____

P:...e daí?

THA:...2B e 2A (E) e 4B e 4A (D)...

P:...olha lá...saiu o que você previu...mas continuemos...faça mais uma previsão ...

THA:...3B e 3A (E) e 3B e 3A (D)...

MO: _____

P:...como ficou?

THA:...2B e 2A (E) e 4B e 4A(D)...

P:...você acha que se continuássemos fazendo lançamentos, existe a chance das bolinhas voltarem para suas posições de origem?

THA:...sim, claro..

P:...quantos lançamentos para isso ocorrer, muitos ou poucos?

THA:...ah muitos....acho que nem dá pra calcular...[fica meio em dúvida]

P: *então prá gente encerrar, faça mais uma previsão...*

THA:...4B e 4A (E) e 2B e 2A (D)...

MO: _____

P:...ficou de que jeito?

THA:...5B e 4A (E) e 1B e 2A (D)....

P:...é isso aí...valeu!

9) Entrevista com DIE (17):

Situação inicial – 4 bolinhas azuis e 4 brancas em cada lado da divisória da caixa.

P:...a caixa tem uma divisória e pode oscilar, as bolinhas então se movimentam e retornam ao lado em que estavam...a minha pergunta então é a seguinte: você acha que pode haver mistura delas?

DIE:...acho que não....se as bolinhas forem reto...né?

P:...tá então eu vou fazer um lançamento pra você ver...tá?

MO: _____

DIE:...teve mistura! [mostra surpresa]

P:...só de um lado, né?

P:...a partir do que você viu, e desta posição em que as bolinhas se encontram, faça uma previsão de quantas ficarão em cada lado do separador, sempre para o lado esquerdo primeiro...tá?

DIE:...4B e 2A (E) e 0B e 2A (D)...

MO: _____

P:...e então ?

DIE: ... 2B e 0A (E) e 2B e 4A (D)...

P:... ainda não houve mistura dos dois lados, apenas de uma deles, né?...vamos para mais uma previsão...

DIE:...1A e 2B (E) e 2B e 3A (D)...

MO: _____

P:...me diz o que deu aí...

DIE:... 2A e 2B (E) e 2B e 2A (D)...

P:...certo, faça outra previsão então...

DIE:...2A e 2B (E) e 2A e 2B (D)...

MO: _____

P: ...como ficou ?

DIE:...1A e 2B (E) e 3A e 2B (D)...

P:...legal, agora vamos aumentar a quantidade de bolinhas prá 6 de cada cor e reiniciar, me responde o seguinte: você acha que o fato de eu ter aumentado o número de bolinhas aumenta a chance de haver mistura ?...ou tanto faz?

DIE:... acho que não aumenta, porque as bolinhas vão colidir mais (sic)

P:...tá, então faça uma previsão agora...

DIE:...1A e 5B (E) e 5A e 1B (D)...

MO: _____

P:...e aí ?

DIE:...1A e 6B (E) e 5A e 0B (D)...

P:...não misturou do lado direito, né?...então faça mais uma previsão...

DIE:...5A e 1B (E) e 1A e 5B (D)...

MO: _____

P: ...me diz o que deu aí...

DIE:...2A e 5B (E) e 4A e 1B (D)...

P:...a partir do que já temos, faça mais uma previsão...

DIE:...1A e 4B (E) e 5A e 2B (D)...

MO: _____

P: e então?

DIE:...2A e 4B (E) e 4A e 2B (D)...

P:...uma última pergunta, você acha que existe a probabilidade de todas as bolinhas retornarem para suas posições de início, isto é, todas as brancas e todas as azuis pro mesmo lado?

DIE:...acho que sim...mas deve ser difícil....

P: ...quantos lançamentos para isso ocorrer?

DIE:...ah uns 30....

P:...tá certo, obrigado então!

10) Entrevista com CRI (18):

Situação inicial – 4 bolinhas azuis e 4 brancas em cada lado da divisória da caixa.

P:...essa caixinha tem um pivô e ela faz o movimento da gangorra, as bolinhas vão e voltam, você acha então que quando elas retornarem, vai haver mistura?

CRI:...vai misturar bem pouquinho...

P:...então faz uma previsão de quantas estarão de cada lado depois do movimento...

CRI:...3B e 1A (E) e 1B e 3A (D)...

MO: _____

P:...o que deu aí ?

CRI:...3B e 2A (E) e 1B e 2A (D)...quase!

P:...você percebeu, que no primeiro lançamento, já houve mistura nos dois lados do separador, né? ...então, a partir dessa posição que está aí, faça uma outra previsão...

CRI:...2B e 3A (E) e 2B e 1A (D)...

MO: _____

P: ...como ficou?

CRI:... 3B e 2A (E) e 1B e 2A (D)...

P:...mais uma previsão então, vamos lá!

CRI:...4B e 1A (E) e 0B e 3A (D)...

MO: _____

P:...e então ?

CRI:...2B e 3A (E) e 2B e 1A (D)...

P:...agora nós vamos aumentar a quantidade de bolinhas em cada lado, 6 de cada cor. O fato de eu ter colocado mais bolinhas aumenta a chance de ter mistura, ou isto não interfere?

CRI:...eu acho que sim, aumenta!

P:...então vamos para uma previsão, mas agora com 6 bolinhas...

CRI: ...4A e 2B (E) e 2A e 4B (D)...

MO: _____

P:...qual o resultado?

CRI:...4A e 1B (E) e 2A e 5B (D)...

P:...faça mais uma previsão...o detalhe é que em todos nossos lançamentos houve mistura...você percebeu isso, ou não?

CRI:...é verdade, você tem razão!

CRI:...5A e 0B (E) e 1A e 6B (D)...

MO: _____

P:...e então ?

CRI:...4A e 3B (E) e 2A e 3B (D)...

P:...agora, eu queria que você respondesse o seguinte, se continuarmos fazendo lançamentos, você acha que existe a possibilidade de todas as bolinhas voltarem pras suas posições de origem?

CRI:...acho que não.....muito difícil...

P: ...não! Ou é muito difícil?... ou, em outras palavras pouco provável?

CRI:...é isso, pouco provável!

P:...tá certo, obrigado por enquanto...

11) Entrevista com CES (17):

Situação inicial – 4 bolinhas azuis e 4 brancas em cada lado da divisória da caixa.

P:...você tá vendo que temos uma caixinha, vamos fazer a caixa com as bolinhas oscilar, você acha que quando elas voltarem, estarão ocupando as mesmas posições?

CES:...não!

P: ...você acha que vai haver mistura, nos dois lados da caixa?...num primeiro lançamento?

CES:...acho que sim...

P:...então você vai fazer uma previsão prá mim...

CES:...4B e 4A (E) e 0B e 0A (D)...

P:...se uma das bolinhas cair fora (da caixa) eu volto o lançamento...ok ?

MO: _____

P: ...o que ficou?

CES:...4B e 2A (E) e 0B e 2A (D)...

P:...beleza, então vamos lá, mais uma previsão a partir desse posicionamento...

P: ...veja que desse lado (direito do separador) não houve mistura, ainda...né?

CES:...é verdade...acho que 4B e 4A (E) e 0B e 0A (D)...

MO: _____

P:...como ficaram?...mudou?

CES:...3B e 0A (E) e 1B e 4A (D)...

P:...o que você acha para o próximo lançamento...mais uma previsão...

CES:...3B e 1A (E) e 1B e 3A (D)...

MO: _____

P:...3B e 1A (E) e 1B e 3A(D)...

CES:...é continuou igual....

P:...isso....é isso...mesmo...

P:...agora nós vamos aumentar o número de bolinhas, vamos trabalhar com mais duas de cada cor.... 6 bolinhas azuis e 6 brancas, tá? A chance de haver mistura nos compartimentos vai aumentar ou o número de bolinhas não interfere?

CES:...vai aumentar...é deve aumentar sim...

P:...começando de novo, uma previsão para essa situação...com 6 bolas de cada cor...

CES:...6B e 0A (E) e 0B e 6A (D)...

MO: _____

P:... 5B e 0A (E) e 1B e 6A (D)...

CES:...é todas as brancas estão do mesmo lado....

P:...faça mais uma previsão...

CES:...3B e 0A (E) e 3B e 6A (D)...

MO: _____

P:...o que deu aí?

CES:...agora misturou dos dois lados: 5B e 1A (E) e 1B e 5A (D)...

P:...você acha que, se nós continuarmos lançando, existe a possibilidade de as bolinhas, todas elas, retornarem às suas posições de origem?

CES:...acho que existe, mas é muito pequena...

P:... quantos lançamentos, pra que isso aconteça?

CES:...uns 40... eu acho...

P:...vamos pra mais uma previsão...mais um lançamento, então ?

CES:...3A e 5B (E) e 3A e 1B (D)...

MO: _____

P:...o que ficou?

CES:...2A e 4B (E) e 4A e 2B (D)...

P:... ok...muito obrigado, então!

12) Entrevista com ISA (17):

Situação inicial – 4 bolinhas azuis e 4 brancas em cada lado da divisória da caixa.

P:...eu vou fazer oscilar a caixa, num movimento de gangorra, você acha que vai haver mistura das bolinhas nos dois compartimentos, depois disso?

ISA:...sim, pode...

P:...então, faça uma previsão de quantas bolinhas brancas e azuis ficarão de cada lado após um primeiro movimento...

ISA:...1B e 2A (E) e 3B e 2A (D)...

P:...se durante o movimento uma bolinha cair da caixa eu retorno o movimento, tá?

MO: _____

P:...como é que ficou?

ISA:...1B e 3A (E) e 3B e 3A(D)...

P:... o que você percebeu agora?

ISA:...já teve (sic) mistura, na primeira tentativa...

P:...você acha que a tendência é misturar mais ou se manter assim?

ISA:...mais...

P:...faça uma outra previsão, para um outro lançamento, a partir dessa situação que já temos...

ISA:...eu acho que vai misturar mais...2B e 2A (E) e 2B e 2A(D)...

MO: _____

P:...como ficou?

ISA:...1A e 1B (E) e 3A e 3B (D)...

P:...mais um lançamento, vamos lá...sua previsão...

ISA:...2A e 0B (E) e 2A e 4B (D)...

MO: _____

P:...mais outra previsão, vamos lá...

ISA:...é, ficou...2A e 3B (E) e 2A e 1B (D)...

MO: _____

P:...e então?

ISA: ...acertei, olha: 2A e 3B (E) e 2A e 1B (D)...

P:...é acertou mesmo, mas vamos em frente...

P:...agora a gente vai aumentar a quantidade bolinhas, vamos com 6 de cada cor, de ambos os lado, pra situação inicial...volta lá...você acha que pelo fato de termos aumentado o número de bolinhas, a chance de misturar aumenta, diminui ou não depende ?

ISA:...sim...

P:...então faça uma previsão com essas 6 bolas de cada cor...

ISA:...3B e 3A (E) e 3B e 3A(D)...

MO: _____

P:...e aí ?

ISA:...1B e 4A (E) e 5B e 2A (D)...

P:...você acha que existe a probabilidade, se agente continuar lançando, de as bolinhas todas voltarem às suas posições de origem?

ISA:...apesar de remota, acho que existe a chance sim...

P:...precisa de muitos ou poucos lançamentos?

ISA:...talvez em poucos lançamentos você conseguisse voltar...

P:...tá ok, faça mais uma previsão então, a partir do que já está aí...

ISA:...2B e 3A (E) e 4B e 3A (D)...

MO: _____

P:...como ficou?

ISA:...é...3B e 4A (E) e 3B e 2A (D)...misturou bem...

P:...uma última tentativa, mais uma previsão...prá gente encerrar...

ISA:...eu acho que vai dar...2B e 2A (E) e 4B e 4A (D)...

MO: _____

P:...2B e 3 A (E) e 4B e 3A (D)...

ISA:...é isso...

P:...tá certo, obrigado por enquanto...

13) Entrevista com IGO (17):

Situação inicial – 4 bolinhas azuis e 4 brancas em cada lado da divisória da caixa.

P:...temos uma caixa com as bolinhas em suas posições e o separador, e eu vou fazer oscilar, num movimento de gangorra, você acha que quando elas voltarem, existe a chance de misturar as bolinhas?

IGO:...a chance existe!...depende da força com que você oscilar...

P: ...você acha que vai misturar então faça uma previsão...num primeiro lançamento?

IGO:...movimento de gangorra?

P:...isso...

IGO:...1B e 3A (E) e 3B e 1A (D)...

P:...se uma das bolinhas cair fora eu volto o lançamento...tá ?

MO: _____

P: ...o que ficou?

IGO:...0B e 2A (E) e 4B e 2A (D)...

P:...reparou que não teve (sic) mistura desse lado [esquerdo]...

P: ...a partir dessa previsão faça uma previsão pra mim...

IGO: ...é verdade...acho que 0B e 3A (E) e 4B e 1A (D)...

MO: _____

P: ...como ficaram?...mudou?

IGO: ...1B e 3A (E) e 3B e 1A (D)...

P: ...mais uma previsão...você acha que vai aumentar mais ainda a mistura?

IGO: ...acho que vai: 2B e 2A (E) e 2B e 2A (D)...

MO: _____

P: ...2B e 3A (E)... e 2B e 1A (D)...

P: ...é isso...mesmo...

P: ...agora nós vamos aumentar o número de bolinhas, vamos trabalhar com mais duas de cada cor.... 6 bolinhas azuis e 6 brancas, tá? A chance de haver mistura nos compartimentos vai aumentar ou o número de bolinhas não interfere?

IGO: ...deixa eu ver..a mesma chance né?...

P: ...começando de novo, uma previsão a partir dessa situação...com 6 bolas de cada cor...

IGO: ...2B e 3A (E) e 4B e 3A (D)...

MO: _____

P: ...quanto deu ?

IGO: ...é todas as azuis estão do mesmo lado....5A e 0B (E) e 1A e 6B (D)...

P: ...é verdade, não houve mistura num dos lados...

P: ...faça mais uma previsão...

IGO: ...2B e 4A (E) e 4B e 2A (D)...

MO: _____

P: ...o que deu aí?

IGO: ...agora misturou dos dois lados: 3B e 4A (E) e 3B e 2A (D)...

P: ...quase...

P: ...você acha que, se nós continuarmos lançando, existe a possibilidade de as bolinhas, todas elas, retornarem às suas posições de origem?

IGO: ...a chance há, né? [parece em dúvida]

P: ...pequena ou grande essa chance?

IGO: ...pequena...

P: ...vamos para uma última previsão...mais um lançamento, então ?

IGO: ...2A e 1B (E) e 4A e 5B (D)...

MO: _____

P: ...o que ficou?

IGO: ...2A e 2B (E) e 4A e 4B (D)...

P: ...é...tá jóia, então!

14) Entrevista com BRU (18):

Situação inicial – 4 bolinhas azuis e 4 brancas em cada lado da divisória da caixa.

P: ...a caixa tem um separador e ela faz um movimento de gangorra, ou seja, as bolinhas vão e voltam, a primeira pergunta então é: se nós fizermos um lançamento, você acha que pode haver mistura das bolinhas?

BRU: ...acho que sim...pode sim

P: ...a partir da sua resposta, faça pra mim uma previsão de quantas bolinhas ficariam de cada lado da caixa?

BRU:...3B e 0A (E) e 1B e 4A (D)...

MO: _____

P:...como ficou?

BRU:...3B e 2A (E) e 1B e 2A (D)...

P:... teve mistura (sic) dos dois lados?

BRU:... teve... isso é normal?

P:...veremos...vamos continuar? Faça mais uma previsão a partir dessa posição que já está aí...

BRU:... 1B e 3A (E) e 3B e 1A (D)...

MO: _____

P:...e então?

BRU:...2B e 3A (E) e 2B e 1A (D)...

P:...vamos a mais um lançamento...

BRU:...1B e 4A (E) e 3B e 0A (D)...

MO: _____

P:...me fala o que deu...

BRU:...1B e 2A (E) e 3B e 2A (D)...

P:...agora a gente vai aumentar o número de bolinhas, a partir daí eu queria saber de você, se a chance de haver mistura vai aumentar ou diminuir, considerando as 6 bolinhas de cada cor...nós vamos prá situação inicial...

BRU:...não muda...

P:...então faça uma previsão...a partir de agora com 6 bolinhas...

BRU:...5B e 3A (E) e 1B e 3A (D)...

MO: _____

P:...e então?

BRU:...5B e 0A (E) e 1B e 6A (E)

P:...vamos pra mais uma previsão...

BRU:...5B e 3A (E) e 1B e 3A (D)...

MO: _____

P:...e daí?

BRU:...5B e 0A (E) e 1B e 6A (D)...

P:...olha lá....o lado esquerdo não teve mistura...faça mais uma previsão ...

BRU:...4B e 3A (E) e 2B e 3A (D)...

MO: _____

P:...como ficou?

BRU:...2B e 3A (E) e 4B e 3A(D)...

P:...você acha que se continuássemos fazendo lançamentos, existe a chance das bolinhas voltarem para suas posições de origem?

BRU:...sim, claro..

P:...quantos lançamentos para isso ocorrer, muitos ou poucos?

BRU:...ah muitos....acho que mais de 20...

P: então prá gente encerrar, faça mais uma previsão...

BRU:...4B e 4A (E) e 2B e 2A (D)...

MO: _____

P:...ficou de que jeito?

BRU:...5B e 4A (E) e 1B e 2A (D)....

P:...muito bem...obrigado!

15) Entrevista com RAF (17):

Situação inicial – 4 bolinhas azuis e 4 brancas em cada lado da divisória da caixa.

P:...a caixa que você tá vendo pode oscilar, ou seja, ela faz um movimento de gangorra, as bolinhas vão e voltam, a primeira pergunta que vou fazer é: você acha que pode haver mistura das bolinhas?

RAF:...pode...

P:...a partir da sua resposta, faça pra mim uma previsão de quantas bolinhas ficariam de cada lado da caixa?

RAF:...3B e 1A (E) e 1B e 3A (D)...

MO: _____

P:...como ficou?

RAF:...3B e 1A (E) e 1B e 3A (D)...

P:... teve mistura (sic) dos dois lados, né?

RAF:... teve... do jeito que eu falei...

P:...é mesmo...tem razão... você acha que vai misturar mais?...faça mais uma previsão a partir dessa posição que já está aí...

RAF:...3B e 1A (E) e 1B e 3A (D)...

MO: _____

P:...e então?

RAF:...3B e 3A (E) e 1B e 1A (D)...

P:...vamos a mais um lançamento...

RAF:...1B e 4A (E) e 3B e 0A (D)...

MO: _____

P:...me fala o que deu...

RAF:...1B e 2A (E) e 3B e 2A (D)...

P:...agora a gente vai botar mais bolinhas, a partir daí eu queria saber de você, se a chance de haver mistura vai aumentar ou diminuir, considerando as 6 bolinhas de cada cor...nós vamos retornar pra situação inicial...

RAF:...acho que sim, aumenta...

P:...então faça uma previsão...a partir de agora com 6 bolinhas...

RAF:...4B e 2A (E) e 2B e 4A (D)...

MO: _____

P:...e então, teve mistura né?

RAF:...5B e 1A (E) e 1B e 5A (E)

P:...vamos pra mais uma previsão...

RAF:...4B e 2A (E) e 2B e 4A (D)...

MO: _____

P:...e daí?

RAF:...2B e 1A (E) e 4B e 5A (D)...

P:... teve mistura (sic) de novo...faça mais uma previsão ...

RAF:...4B e 3A (E) e 2B e 3A (D)...

MO: _____

P:...como ficou?

RAF:...2B e 3A (E) e 4B e 3A(D)...

P:...você acha que se continuássemos fazendo lançamentos, existe a chance das bolinhas voltarem para suas posições de origem?

RAF:...sim, acho...

P:...quantos lançamentos para isso ocorrer, muitos ou poucos?

RAF:...acho que uns 10 ou 15...

P: *então prá gente encerrar, uma última previsão...*

RAF:...3B e 3A (E) e 3B e 3A (D)...

MO: _____

P:...*ficou de que jeito?*

RAF:...3B e 3A (E) e 3B e 3A (D)....

P:...*muito bom...valeu...obrigado!*

Transcrições das Entrevistas / Pós-Teste II (Simulação de Reação química/ Reator fechado)

Nota do autor: Todas as transcrições foram editadas de forma que apenas as informações relevantes fossem levadas em conta, já que cada entrevista tinha em média de 25 a 35 minutos de duração. Isso fez com que, inclusive, os trechos “*comuns*” (algumas perguntas, por exemplo) a todas elas também fossem abreviados, sem prejuízo para a interpretação dos dados.

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....prá 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 prá 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:...1 preta ...e 1 vermelha....portanto: colisão efetiva...houve reação

ISA:...a gente tira essas duas e põe 1 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 prá uns 48%...

TT: _____

P:...saiu...1 preta e1 vermelha, colisão efetiva.

ISA:...tira as duas.....coloca 1 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:...1 vermelha e....1 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 prá ...[pensa bastante]....43% [novamente sem justificar]

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

TT:_____

P:...1 preta e 1 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: 1 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 09 colisões efetivas 06 não efetivas, e portanto, 09 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 prá 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....prá 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 50 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, 1 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:...*you disse que diminui a chance de haver colisão efetiva...vai prá quanto?...faça uma estimativa!*

CES: ...*Acho que vai prá uns 48%...*

TT: _____

P:....*saiu...1 preta e1 vermelha, colisão efetiva.*

ISA:...*tira as duas.....coloca 1 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 prá uns 45%...*

TT: _____

P:....*saiu (sic) duas preta,....sem reação então!.*

CES: *isso...*

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

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

TT: _____

P:...*1 preta e 1 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 (9 de cada cor), ou seja, 9 colisões efetivas e 6 não efetivas. Entraram 9 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 prá uns 31%...*

P:...*ok... obrigado*

3) Entrevista com MAR (17):

P:...*bom, nós vamos simular a reação, usando as bolinhas e a caixa como sendo o reator, ok?*

MAR:...*tá bom...*

P: a gente vai simular a reação, da seguinte maneira: as bolinhas representam as partículas de reagentes, o saco preto o reator,...você vai tirar duas bolinhas em seguida....prá colisão ser efetiva, as bolinhas têm que ser de cores diferentes...tá?...elas já têm a energia necessária e a geometria de colisão também...sabemos que existem 50 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?

MAR: ...na primeira?

P:...é, na primeira vez!

MAR:...50 % [demora um pouco]

TT: _____

P: saiu...hummm, 1 preta, ...e 1 vermelha (par PV) houve reação, então vamos retirar esse par e introduzir uma bolinha branca, que representa o produto. A minha pergunta é: qual chance de haver colisão efetiva agora?

MAR: [demora bastante para responder]....49,5%, mudou porque você retirou reagentes, né?

TT: _____

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

MAR:....tá!

P: ...qual a nova probabilidade agora?

MAR:...49,5%...

TT: _____

P: saíram duas vermelhas...elas então voltam pro reator...

MAR:...legal...

P:.....faça uma nova estimativa!

MAR: ...Acho que permanece em 49,5%...

TT: _____

P:....saiu...1 preta e1 preta, colisão não efetiva.

MAR:...voltam as duas..., né?

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

MAR:....continua em 49,5%...

TT: _____

P:....saiu duas preta,...sem reação então!.

MAR: isso...

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

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

TT: _____

P:...1 preta e 1 vermelha, hummm teve reação (sic), colisão efetiva,...as duas bolinhas (par PV) são retiradas e colocamos uma branca...

MAR:....tá!

Nota: Depois de 15 tentativas, já saíram 14 bolinhas do reator (7 de cada cor), ou seja, 7 colisões efetivas e 8 não efetivas. Entraram 7 bolinhas brancas, como produto da reação. Total de bolinhas no saco: **93**.

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?

MAR:....ah sim....devem ser, pois os choques também são casuais!

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

MAR:.... vai pra uns 35%...porque diminuiu muito a quantidade de reagentes...

P:...ok... obrigado

4) Entrevista com **THI** (16):

P:...a gente vai simular uma reação, usando as bolinhas você se lembra das instruções todas?

THI:...sim, tudo bem...pode começar...

P: a gente vai simular a reação, da seguinte maneira: as bolinhas de isopor representam as partículas de reagentes, o saco preto o reator,...você vai tirar duas bolinhas em seguida....prá colisão ser efetiva, as bolinhas têm que ser de cores diferentes...tá?...elas já têm a energia necessária e a geometria de colisão também...sabemos que existem 50 bolinhas de cada cor no reator.

P:...nós temos 50 bolinhas pretas e 50 vermelhas, qual a probabilidade ...qual a chance de tirar uma preta e uma vermelha em seguida (par PV)?

THI: ...qual a chance?

P:...é, na primeira vez!

THI:...10 % [sem pensar]

TT: _____

P: saiu..., 1 vermelha, ...e 1 vermelha, não houve reação, elas retornam para o reator. A minha pergunta agora é: qual chance de haver colisão efetiva?

THI:...10%, não se alterou...

TT: _____

P: um par PV...colisão efetiva...

THI:...é mesmo, tira as duas agora?

P:...isso, e coloca uma branca (produto)...

P: ...qual a nova probabilidade agora?

THI:...12%...aumentou....porque diminuiu a quantidade de produto...[acaba se confundindo]

TT: _____

P: saíram duas vermelhas...elas então voltam pro reator...

THI:...legal...

P:.....faça uma nova estimativa!

THI: ...Acho que permanece em 12%...

TT: _____

P:...saiu...1 preta e1 vermelha, colisão efetiva.

THI:...saem as duas..., né?

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

THI:...aumentou para 14%... [pela mesma razão citada antes]

TT: _____

P:...saiu par PV, teve reação então!.

THI: isso...

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

THI:...aumentou de novo...16% [idem]

TT: _____

P:...1 preta e 1 vermelha, humm teve reação (sic), colisão efetiva,...as duas bolinhas (par PV) são retiradas e colocamos uma branca...

THI:...tá!

Nota: Depois de 15 tentativas, já saíram 14 bolinhas do reator (7 de cada cor), ou seja, 7 colisões efetivas e 8 não efetivas. Entraram 7 bolinhas brancas, como produto da reação. Total de bolinhas no saco: **93**.

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?

THI:...isso, são desse jeito (sic) as colisões, né?

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

THI:.... vai prá uns 24%...porque diminuiu a quantidade de reagentes...

P:...ok... obrigado

5) Entrevista com VIN (17):

P:...a gente vai simular uma reação, você entendeu as instruções, todas?

VIN:...sim...estou pronto...

P:...nós temos 50 bolinhas pretas e 50 vermelhas,...qual a chance de tirar uma preta e uma vermelha em seguida (par PV)?

VIN: ...qual a chance, em porcentagem?

P:...é, na primeira vez!

VIN:...50 % [pensa um bom tempo e depois calcula no papel]

TT: _____

P: saiu..., 1 vermelha, ...e 1 preta, houve reação, elas são retiradas e vai uma branca para o reator. A minha pergunta agora é: qual chance de haver colisão efetiva?

VIN:...49%, eu acho que diminui...porque entrou branca ...(produto)

TT: _____

P: uma preta e... outra preta não teve reação...

VIN:...é isso, voltam as duas agora?

P:...isso, é isso mesmo...

P: ...qual a nova probabilidade agora?

VIN:...49%...não altera....as quantidades ficaram as mesmas...

TT: _____

P: saíram duas vermelhas...elas então voltam pro reator...

VIN:...legal...

P:.....faça uma nova estimativa!

VIN: ...Acho que permanece em 12%...

TT: _____

P:....saiu...1 preta e1 vermelha, colisão efetiva.

VIN:...saem as duas..., né?

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

VIN:....diminuiu para 48%...[pela mesma razão, entrou produto]

TT: _____

P:....saiu par PV, teve reação então!.

VIN: isso...

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

VIN:....diminuiu de novo...44% [idem]

TT: _____

P:...1 preta e 1 vermelha, humm teve reação (sic), colisão efetiva,...as duas bolinhas (par PV) são retiradas e colocamos uma branca...

VIN:...tá!

Nota: Depois de 15 tentativas, já saíram 20 bolinhas do reator (10 de cada cor), ou seja, 10 colisões efetivas e 5 não efetivas. Entraram 10 bolinhas brancas, como produto da reação. Total de bolinhas no saco: **90**.

P:... pra gente encerrar, gostaria de saber de você, o que acha dessas colisões efetivas, numa reação qualquer, são como essas que estamos simulando aqui, ou seja, aleatórias?

VIN:...são exatamente assim, aleatórias....eu acho!

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

VIN:.... vai prá uns 28%...porque diminuiu muito a quantidade de bolinhas...

P:...tá certo... obrigado!

6) Entrevista com AMA (17):

P:...a gente vai simular uma reação, você já sabe das condições todas, né?

AMA:...sei...pode começar...

P:...nós temos 50 bolinhas pretas e 50 vermelhas,...qual a chance de tirar uma preta e uma vermelha em seguida (par PV), ou seja colisão efetiva?

AMA: ...qual a probabilidade?

P:...sim!

AMA:...40 % [gasta muito tempo]

TT: _____

P: saiu..., 1 vermelha, ...e 1 preta, houve reação, vamos tirar as duas e vai uma branca para o reator. Então, qual é a chance agora haver colisão efetiva?

AMA:...36%, eu acho que diminui...porque formou produto e gastou reagente...

TT: _____

P: uma preta e... outra preta não teve reação...

AMA:...é isso, voltam as duas agora?

P:...isso, é isso mesmo...

P: ...qual a nova probabilidade agora?

AMA:...36%...não altera....as quantidades não mudaram...

TT: _____

P: saiu um par PV...elas saem e colocamos uma branca no reator...

AMA:...é...

P:.....faça uma nova estimativa!

AMA: ...Acho que diminui para 32%...saiu (sic) mais bolinhas de regentes...

TT: _____

P:...saiu...1 preta e1 vermelha, colisão efetiva.

AMA:...saem as duas..., né?

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

AMA:...diminuiu para 28%...[pela mesma razão]

TT: _____

P:...sairam duas vermelhas!.

AMA: é mesmo...

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

AMA:...não mudou...28% [idem]

TT: _____

P:...1 preta e 1 vermelha, humm teve reação (sic), colisão efetiva,...as duas bolinhas (par PV) são retiradas e colocamos uma branca...

AMA:...tá!

Nota: Depois de 15 tentativas, já saíram 14 bolinhas do reator (7 de cada cor), ou seja, 7 colisões efetivas e 8 não efetivas. Entraram 7 bolinhas brancas, como produto da reação. Total de bolinhas no saco: **93**.

P:... para nós finalizarmos, o que você acha dessas colisões efetivas, numa reação qualquer, elas são como essas que estamos simulando aqui, ou seja, aleatórias?

AMA:...são assim mesmo....agora eu me lembro dessa aula...!

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

AMA:..... 12%...porque diminuiu a quantidade de reagentes..

P:...muito obrigado!...valeu!

7) Entrevista com **ORL** (18):

P:...você já entendeu as condições em que vamos realizar a simulação? Tudo certo?

ORL:...sim, tudo beleza...

P:...com 50 bolinhas pretas e 50 vermelhas, qual a probabilidade ...qual a chance de tirar uma preta e uma vermelha em seguida (par PV)?

ORL: ...qual a chance?

P:...é, na primeira vez!

ORL:...25 % [faz vários cálculos]

TT: _____

P: saiu..., 1 preta, ...e 1 preta, não houve reação, elas retornam para o reator. A minha pergunta agora é: qual chance de haver colisão efetiva?

ORL:...25%, não se alterou...

TT: _____

P: outro par de bolinhas pretas...colisão não efetiva...

ORL:...é verdade...

P: ...qual a nova probabilidade agora?

ORL:...25%...não mudou nada em termos de quantidade...

TT: _____

P: saíram duas vermelhas...elas então voltam pro reator...

ORL:...legal...

P:.....faça uma nova estimativa!

ORL: ...Acho que permanece em 25%...sem alteração...

TT: _____

P:...saiu...1 preta e1 vermelha, colisão efetiva.

ORL:...saem as duas..., né? e bota uma branca, até que enfim!

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

ORL:...diminui para 23%... por causa do produto...

TT: _____

P:...saiu outro par PV, teve reação então!.

ORL: isso...

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

ORL:...diminui de novo...21% [mesma justificativa]

TT: _____

P:...1 vermelha... e outra vermelha, sem reação, colisão não efetiva,...

ORL:...tá!

Nota: Depois de 15 tentativas, já saíram 14 bolinhas do reator (7 de cada cor), ou seja, 7 colisões efetivas e 8 não efetivas. Entraram 7 bolinhas brancas, como produto da reação. Total de bolinhas no saco: **93**.

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?

ORL:...isso, são desse jeito (sic) as colisões, né?

P:.....muito bem, com o que ainda existe de bolinhas qual sua previsão..?

ORL:.... uns 15%...porque diminuiu a quantidade de reagentes...e entrou produto...né?

P:...ok... obrigado...

8) Entrevista com **LEV** (17):

P:...você já sabe das condições em que vamos realizar a simulação? Alguma dúvida?

LEV:...não,...tudo certo...

P:...com essas 50 bolinhas pretas e 50 vermelhas,...qual a chance de você tirar uma preta e uma vermelha em seguida (par PV)?

LEV: ...a probabilidade você quer ?

P:...isso, na primeira tentativa!

LEV:...25 %

TT: _____

P: o que saiu..., 1 preta, ...e 1 vermelha, colisão efetiva, vamos retirar as bolinhas do reator e... colocar uma branca, que é o produto. Vamos lá: qual chance de haver colisão efetiva agora?

LEV:...21%, , eu acho que diminui...porque diminuiu a quantidade de reagentes...

TT: _____

P: bem...temos um par de bolinhas pretas...colisão não efetiva...

LEV:...é verdade...

P: ...qual a nova probabilidade agora?

LEV:...21%...não muda nada...

TT: _____

P: saiu um par PV...elas saem do reator...

LEV:...e bota a branca no lugar ?..

P:.....isso....agora faça uma nova estimativa!

LEV: ...Acho que cai prá 20%...

TT: _____

P:...saiu...1 preta e1 vermelha, colisão efetiva.

LEV:...saem as duas..., né? e bota uma branca, até que enfim!

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

LEV:...diminui para 19%... por causa do produto...e das bolinhas que saíram...

TT: _____

P:...saiu outro par PV, teve reação então!.

LEV: isso...

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

LEV:...diminui de novo...17% [mesma justificativa]

TT: _____

P:...1 vermelha... e outra vermelha, sem reação, colisão não efetiva,...

LEV:...certo!

Nota: Depois de 15 tentativas, já saíram 14 bolinhas do reator (7 de cada cor), ou seja, 7 colisões efetivas e 8 não efetivas. Entraram 7 bolinhas brancas, como produto da reação. Total de bolinhas no saco: **93**.

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?

LEV:...isso, são desse jeito (sic) as colisões, né?

P:.....muito bem, com o que ainda existe de bolinhas qual sua previsão..?

LEV:.... acho que 13%...porque diminuiu a quantidade de reagentes.....né?

P:...tá bom.. muito obrigado...então!

9) Entrevista com **LEA** (17):

P:...a gente vai simular uma reação, você já tem as informações todas?

LEA:...sim, tudo certo...

P:...de início são 50 bolinhas pretas e 50 vermelhas,...qual a chance de tirar uma preta e uma vermelha em seqüência (par PV), ou seja colisão efetiva?

LEA: ...em números?

P:...é...percentagem!

LEA:...50 % [faz o cálculo num papel a parte]

TT: _____

P: saiu..., 1 vermelha, ...e 1 preta, houve reação, vamos tirar as duas e colocar uma branca no reator. Qual a chance agora, de haver colisão efetiva?

LEA:...49%, deve diminuir...porque saíram bolinhas de reagente...

TT: _____

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

LEA:...é coloca a bolinha branca?

P:...exato, vamos lá...

P: ...qual a nova probabilidade agora?

LEA:...47%...cai mais um pouco.... [usa a mesma justificativa]

TT: _____

P: saiu uma bolinha preta e outra vermelha...sem colisão efetiva....

LEA:...tá...

P:.....faça uma nova estimativa!

LEA: ...mantém os 47%...acho que fica na mesma...

TT: _____

P:...saiu...1 preta e1 vermelha, colisão efetiva.

LEA:...saem as duas..., né?

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

LEA:...diminuiu para 42%... [pela mesma razão]

TT: _____

P:...saiu um par PV...

LEA: é mesmo...

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

LEA:...diminui... para 40% [idem]

TT: _____

P:...1 preta e 1 vermelha, humm teve reação (sic), colisão efetiva,...as duas bolinhas (par PV) são retiradas e colocamos uma branca...

LEA:...tá!

Nota: Depois de 15 tentativas, já saíram 18 bolinhas do reator (9 de cada cor), ou seja, 9 colisões efetivas e 6 não efetivas. Entraram 9 bolinhas brancas, como produto da reação. Total de bolinhas no saco: **91**.

P:... para terminar, o que você acha dessas colisões efetivas, numa reação qualquer, elas são como essas que estamos simulando aqui, ou seja, aleatórias?

LEA:...pelo que já estudei e vi aqui, sim, mas deve ter muito mais numa reação, né?

P:.....muito bom, qual sua última previsão..?

LEA:.... 18%...porque a quantidade de reagente é bem menor agora!

P:...muito obrigado!

10) Entrevista com **THA**(19):

P:...você já tem todas as informações para realizarmos a simulação? Tudo bem?

THA:...sim,...tudo certo...

P:...vamos iniciar com 50 bolinhas pretas e 50 vermelhas,...qual a chance de você tirar uma preta e uma vermelha em sequência (par PV)?

THA: ...a chance matemática ?

P:...isso, quero que você faça uma estimativa!

THA:...50 %

TT: _____

P: o que saiu? ... 1 preta, ...e 1 preta, colisão não efetiva. As bolinhas retornam ,...vamos lá: qual a chance de haver colisão efetiva agora?

THA:....50%, , não se altera...

TT: _____

P: bem...temos um par de bolinhas pretas...colisão não efetiva...

THA:....é verdade...

P: ...qual a nova probabilidade agora?

THA:...50%...não muda nada...

TT: _____

P: saiu um par preta e preta...elas voltam para o reator...

THA:...tá difícil...

P:.....é....agora faça uma nova estimativa!

THA: ...bom, continua nos 50%...

TT: _____

P:...saiu...1 vermelha e1 vermelha, colisão não efetiva.

THA:...nossa, ainda não teve nenhuma colisão com reação!

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

THA:....igual (50%)... nada mudou né?

TT: _____

P:...duas bolinhas iguais novamente...não, teve reação então!.

THA: puxa...

[preocupada]

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

THA:....igual...50%

TT: _____

P:...1 preta... e outra vermelha, colisão efetiva,...um par PV!

THA:...até que enfim!

[comemora]

Nota: Depois de 15 tentativas, saíram 10 bolinhas do reator (5 de cada cor), ou seja, 5 colisões efetivas e 10 não efetivas. Entraram 5 bolinhas brancas, como produto da reação. Total de bolinhas no saco: **95**.

P:... antes da gente encerrar, quero saber se você acha que essas colisões efetivas, numa reação qualquer, são como essas que estamos simulando aqui, ou seja, aleatórias?

THA:...isso, são assim....casual, agora deu pra ver bem!

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

THA:.... acho que 25%...porque diminuiu o número de bolinhas reagentes.....né?

P:...tá ok.. valeu...!

11) Entrevista com DIE (17):

P:...alguma pergunta em relação às condições do experimento? Da simulação?

DIE:...não,...tá tudo (sic) beleza...

P:...no início, temos 50 bolinhas pretas e 50 vermelhas no interior do reator,...qual a chance de você tirar uma preta e uma vermelha em seguida (par PV)?

DIE:...50 %

TT: _____

P: o que saiu..., 1 preta, ...e 1 vermelha, colisão efetiva, vamos retirar as bolinhas do reator e... colocar uma branca, ta?. E agora, qual chance de haver colisão efetiva agora?

DIE:...50%, , eu acho que continua na mesma...porque o número de bolinhas vermelhas continua igual ao de bolinhas pretas...

TT: _____

P: então...saiu um par de bolinhas vermelhas...colisão não efetiva...

DIE:...exato...

P: ...qual a nova probabilidade agora?

DIE:...50%...não muda nada...

TT: _____

P: saiu um par de bolinhas vermelhas...elas voltam para o reator...

DIE:...não teve colisão efetiva...né?

P:.....isso....agora faça uma nova estimativa!

DIE: ...Acho que, continua 50%...

TT: _____

P:...saiu...1 preta e1 vermelha, colisão efetiva.

DIE:...saem as duas..., né? e bota uma branca, o...produto!

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

DIE:...agora acho que diminui para 50%... por que há menos bolinhas para colisão...

TT: _____

P:...saiu um par de vermelhas, não teve (sic) reação então!.

DIE: ...isso...não teve!

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

DIE:...continua...40% [mesma justificativa]

TT: _____

P:...1 vermelha... e outra vermelha, sem reação, colisão não efetiva,...

DIE:...certo!

Nota: Depois de 15 tentativas, já saíram 12 bolinhas do reator (6 de cada cor), ou seja, 6 colisões efetivas e 9 não efetivas. Entraram 6 bolinhas brancas, como produto da reação. Total de bolinhas no saco: **94**.

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?

DIE:...isso, são desse jeito (sic) as colisões, né?

P:.....muito bem, com o que ainda existe de bolinhas qual sua previsão..?

DIE:... acho que 40%...porque diminuiu a quantidade de bolinhas para colisão...

P:... muito obrigado...!

12) Entrevista com CRI (18):

P:...bom, então você já está a par das instruções, para a gente dar prosseguimento à experiência?

CRI:...já...pode começar!

P:...no reator, inicialmente, temos 50 bolinhas pretas e 50 vermelhas,...qual a chance de sair uma bolinha preta e uma vermelha em seguida (par PV)?

CRI: ...prá eu dizer a chance ?

P:...é, uma estimativa...

CRI:...50 %

TT: _____

P: ...saiu..., 1 preta, ...e 1 vermelha, colisão efetiva, saem as duas bolinhas do reator e... a gente coloca uma branca, que é o produto. E agora, qual a chance de haver colisão efetiva?

CRI:...50%, não se altera...

TT: _____

P: ...bem...temos um par de bolinhas pretas...colisão não efetiva...

CRI:...é verdade...

P: ...qual a probabilidade agora?

CRI:...50%...não muda nada...

TT: _____

P: saiu um par PV...elas saem do reator...

CRI:...e a branca, entra no lugar ?..

P:.....exatamente....agora faça uma nova estimativa!

CRI: ...Acho que cai prá uns 48%...

TT: _____

P:....saiu...1 preta e1 vermelha, novamente, uma colisão efetiva.

CRI:...saem as duas..., né? e bota uma branca...

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

CRI:....diminui para 46%... por causa das bolinhas que saíram...

TT: _____

P:...saiu outro par PV, teve reação então!.

CRI: isso...

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

CRI:....diminui de novo...44% [mesma justificativa anterior]

TT: _____

P:...1 vermelha... e mais uma vermelha, sem reação, colisão não efetiva,...

CRI:...isso mesmo...

Nota: Depois de 15 tentativas, já saíram 14 bolinhas do reator (7 de cada cor), ou seja, 7 colisões efetivas e 8 não efetivas. Entraram 7 bolinhas brancas, como produto da reação. Total de bolinhas no saco: **93**.

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?

CRI:...isso, são desse jeito (sic) as colisões, né?

P:....muito bem, com o que ainda existe de bolinhas qual sua previsão..?

CRI:.... acho que 13%...porque diminuiu a quantidade de reagentes.....né?

P:...tá bom.. muito obrigado...então!

13) Entrevista com IGO (17):

P:... a gente vai simular uma reação, você já sabe das condições todas? ...das bolinhas no reator?

IGO:...sei...

P:...para começar são 50 bolinhas pretas e 50 vermelhas,...e eu queria iniciar perguntando qual a chance de sair uma bolinha preta e uma vermelha (um par PV), ou seja, termos uma colisão efetiva?

IGO: ...50%

P:... na primeira tentativa?

IGO:...isso...50 %

TT: _____

P: ... saiu..., um par PV, colisão efetiva... vamos então retirar as bolinhas do reator e colocar uma branca, o produto. Continuando: qual chance de haver colisão efetiva na próxima?

IGO:...49,9%, , eu acho que diminui...devido à bolinha branca...

TT: _____

P: bem...temos um par PV, de novo...colisão efetiva...

IGO:...é ...

P: ...qual a nova probabilidade agora?

IGO:...49,5%...diminui um pouco...

TT: _____

P: saiu mais um par PV...vamos tira-lo do reator...

IGO:...e por a branca?

P:.....pode colocar....agora faça uma nova estimativa!

IGO: ...Acho que cai prá 49,2%...um pouquinho...

TT: _____

P:...saiu...1 preta eoutra preta, colisão não efetiva.

IGO:...voltam?

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

IGO:...continua em 49,2%...

TT: _____

P:...saiu outro par PV, teve reação então!.

IGO: isso...

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

IGO:...diminui de novo...48,8%

[mesma justificativa]

TT: _____

P:...1 vermelha... e outra vermelha, sem reação, colisão não efetiva,...

IGO:...certo!

Nota: Depois de 15 tentativas, já saíram 20 bolinhas do reator (10 de cada cor), ou seja, 10 colisões efetivas e 5 não efetivas. Entraram 10 bolinhas brancas, como produto da reação. Total de bolinhas no saco: **90**.

P:... prá encerrar, o que você acha dessas colisões efetivas, numa reação qualquer, são como essas que estamos simulando aqui?

IGO:...sim, pelo menos foi isso que eu percebi...

P:...muito bem, com o que ainda existe de bolinhas qual sua previsão..?

IGO:... acho que 44%...porque diminuiu a quantidade de bolinhas reagentes...

P:...tá bom.. valeu...!

14) Entrevista com BRU (18):

P:...a gente vai simular uma reação bimolecular, humm...você já conhece as condições todas do experimento?

BRU:...sei sim...pode começar...

P:...nós temos 50 bolinhas pretas e 50 vermelhas,...qual a chance de tirar uma preta e uma vermelha em seguida (par PV), ou seja colisão efetiva?

BRU:...25 % [não justifica]

TT: _____

P: saiu..., 1 vermelha, ...e 1 vermelha, não houve reação, voltam as duas para o reator. E agora, qual é a chance de haver colisão efetiva?

BRU:...25%, ...não se alterou!

TT: _____

P: um par PV, colisão efetiva...

BRU:...consegui...

P:...é isso aí...vamos continuar...

P: ...qual a nova probabilidade agora?

BRU:...24%...diminui um pouco...

TT: _____

P: saiu um par PV...elas saem e colocamos uma branca no reator...

BRU:...é...

P:.....faça uma nova estimativa!

BRU: ...Acho que diminui para 23%.....

TT: _____

P:...saiu...1 preta e1 preta, colisão não efetiva.

BRU:...volta tudo...

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

BRU:...diminuiu para 23%...

TT: _____

P:...saiu um par PV...e então...

BRU: isso...

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

BRU:...diminui pra...22%

TT: _____

P:...1 preta e 1 vermelha, humm teve reação (sic), colisão efetiva,...as duas bolinhas (par PV) são retiradas e colocamos uma branca...

BRU:...tá tudo certo por enquanto?

P:...tá...

Nota: Depois de 15 tentativas, já saíram 10 bolinhas do reator (5 de cada cor), ou seja, 5 colisões efetivas e 10 não efetivas. Entraram 5 bolinhas brancas, como produto da reação. Total de bolinhas no saco: **95**.

P:... pra terminar, o que você acha dessas colisões efetivas, numa reação qualquer, elas são como essas que estamos simulando aqui, ou seja, aleatórias?

BRU:...acho que de verdade deve ser mais fácil...!

P:....muito bem, com o que restou de bolinhas, no reator, qual sua última estimativa?

BRU:.... 20%...porque diminuiu(sic) a quantidade de bolinhas pretas e vermelhas...

P:...muito obrigado...

15) Entrevista com RAF (17):

P:...a gente vai simular uma reação, você já sabe das condições todas, tem alguma dúvida?

RAF:...não...tudo certo...

P:...aqui nesta caixa (reator) estão, de início, 50 bolinhas pretas e 50 vermelhas,...qual a chance sair uma preta e uma vermelha em sequência (par PV), ou seja, ocorrer colisão efetiva?

RAF: ...colisão efetiva?

P:...sim!

RAF:...eu acho que uns 50% ...por aí!

TT: _____

P: ...você tirou... 1 vermelha, ... e outra vermelha, não houve reação, ta certo?... Qual seria a chance agora haver colisão efetiva?

RAF:....50%, eu acho que não altera nada ué!

TT: _____

P: uma preta e... outra preta não teve reação...

RAF:....é isso, voltam as duas agora?

P:...retornam pro reator, é isso mesmo...

P: ...qual a nova probabilidade agora?

RAF:...50%...não altera....as quantidades não mudaram...

TT: _____

P: saiu um par PV...elas saem e colocamos uma branca no reator...

RAF:...é...

P:.....faça uma nova estimativa!

RAF: ...Acho que diminui para 45%...saiu (sic) mais bolinhas de reagentes...

TT: _____

P:....saiu...1 preta e1 preta também, colisão não efetiva.

RAF:...voltam as duas..., né?

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

RAF:....mantém os 45%... [fica em dúvida]

TT: _____

P:...sairam duas vermelhas, foi isso né?

RAF: é foi...

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

RAF:....não mudou...45%

TT: _____

P:...1 preta e 1 vermelha, humm teve reação (sic), colisão efetiva,...as duas bolinhas (par PV) são retiradas e colocamos uma branca...

RAF:...tá!

Nota: Depois de 15 tentativas, já saíram 06 bolinhas do reator (3 de cada cor), ou seja, 3 colisões efetivas e 12 não efetivas. Entraram 3 bolinhas brancas, como produto da reação. Total de bolinhas no saco: **97 (maior número entre os testes aplicados)**.

P:... para nós finalizarmos, o que você acha dessas colisões efetivas, numa reação qualquer, elas são como essas que estamos simulando aqui, ou seja, aleatórias?

RAF:...são assim mesmo....agora eu me lembro dessa aula...!

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

RAF:.... 30%...porque diminuiu a quantidade de reagentes..

P:...ok obrigado!...

ANEXO II

Respostas do Questionário Aplicado Pós-Teste I

MAR

ALUNO: _

Obrigado por sua participação nesta pesquisa e pela sua disposição em nos ajudar a identificar alguns problemas de aprendizagem na disciplina de Química. Suas respostas serão muito valiosas para nossa investigação, por isso responda com sinceridade às questões a seguir.

1- Você já estudou, ou já leu, sobre como as reações químicas ocorrem num nível submicroscópico (nível de partículas)?

☒ SIM ☐ NÃO

2- Em caso positivo, descreva (com suas palavras) ou faça um desenho (do modelo que você aprendeu) que represente uma reação bimolecular, do tipo $A + B \rightarrow C$, onde um único produto é formado.

3- Assinale os conceitos listados abaixo que você já estudou, ou já leu sobre:

- ☒ energia de ativação
- ☐ geometria de colisão
- ☒ complexo ativado
- ☐ colisão efetiva
- ☐ ordem de reação
- ☐ Lei da Ação das Massas
- ☐ molecularidade de reação
- ☒ catalisador

4- Descreva ou explique com suas palavras o que é uma *colisão efetiva* (apenas quando o quadradinho correspondente a esse conceito for assinalado).

5- No seu modelo, ou no seu entendimento, o que se pode afirmar sobre essas *colisões efetivas*:

- ☐ ocorrem ao acaso.
- ☐ são inelásticas.
- ☐ dependem da temperatura.
- ☐ dependem da orientação espacial das partículas.
- ☒ aumentam quando o número de partículas reagentes aumenta.
- ☐ ocorrem segundo uma lei matemática bem determinada, ou seja, podem ser previstas rigorosamente em quantidade e intensidade.

6- A *velocidade* de uma reação química qualquer, no seu entendimento, ou segundo o modelo que você aprendeu:

- ☒ depende da temperatura.
- ☒ depende dos estados físicos dos reagentes.
- ☒ depende da quantidade de partículas reagentes (concentração).
- ☐ depende da massa das partículas envolvidas (massa molecular).
- ☒ depende da relação pressão/volume do recipiente onde as partículas se encontram.
- ☐ não depende de nenhum desses fatores.

7- Caso uma reação química bimolecular, onde os reagentes alcançam a energia de ativação, fosse simulada num recipiente (como uma caixa fechada ou saco de cor escura) com bolinhas de isopor representando as partículas que reagem, como aconteceriam essas colisões? Acompanhe as instruções do pesquisador e você poderá responder às próximas perguntas sobre esse experimento.

ALUNO:

THI

Obrigado por sua participação nesta pesquisa e pela sua disposição em nos ajudar a identificar alguns problemas de aprendizagem na disciplina de Química. Suas respostas serão muito valiosas para nossa investigação, por isso responda com sinceridade às questões a seguir.

1- Você já estudou, ou já leu, sobre como as reações químicas ocorrem num nível submicroscópico (nível de partículas)?

☒ SIM ☐ NÃO

2- Em caso positivo, descreva (com suas palavras) ou faça um desenho (do modelo que você aprendeu) que represente uma reação bimolecular, do tipo $A + B \rightarrow C$, onde um único produto é formado.

3- Assinale os conceitos listados abaixo que você já estudou, ou já leu sobre:

- ☐ energia de ativação
- ☒ geometria de colisão
- ☐ complexo ativado
- ☐ colisão efetiva
- ☐ ordem de reação
- ☐ Lei da Ação das Massas
- ☐ molecularidade de reação
- ☐ catalisador

4- Descreva ou explique com suas palavras o que é uma *colisão efetiva* (apenas quando o quadradinho correspondente a esse conceito for assinalado).

5- No seu modelo, ou no seu entendimento, o que se pode afirmar sobre essas *colisões efetivas*:

- ☒ ocorrem ao acaso.
- ☒ são inelásticas.
- ☐ dependem da temperatura.
- ☐ dependem da orientação espacial das partículas.
- ☐ aumentam quando o número de partículas reagentes aumenta.
- ☐ ocorrem segundo uma lei matemática bem determinada, ou seja, podem ser previstas rigorosamente em quantidade e intensidade.

6- A *velocidade* de uma reação química qualquer, no seu entendimento, ou segundo o modelo que você aprendeu:

- ☒ depende da temperatura.
- ☒ depende dos estados físicos dos reagentes.
- ☐ depende da quantidade de partículas reagentes (concentração).
- ☐ depende da massa das partículas envolvidas (massa molecular).
- ☒ depende da relação pressão/volume do recipiente onde as partículas se encontram.
- ☐ não depende de nenhum desses fatores.

7- Caso uma reação química bimolecular, onde os reagentes alcançam a energia de ativação, fosse simulada num recipiente (como uma caixa fechada ou saco de cor escura) com bolinhas de isopor representando as partículas que reagem, como aconteceriam essas colisões? Acompanhe as instruções do pesquisador e você poderá responder às próximas perguntas sobre esse experimento.

VIN

ALUNO: _____

Obrigado por sua participação nesta pesquisa e pela sua disposição em nos ajudar a identificar alguns problemas de aprendizagem na disciplina de Química. Suas respostas serão muito valiosas para nossa investigação, por isso responda com sinceridade às questões a seguir.

1- Você já estudou, ou já leu, sobre como as reações químicas ocorrem num nível submicroscópico (nível de partículas)?

☒ SIM ☐ NÃO

2- Em caso positivo, descreva (com suas palavras) ou faça um desenho (do modelo que você aprendeu) que represente uma reação bimolecular, do tipo $A + B \rightarrow C$, onde um único produto é formado.

3- Assinale os conceitos listados abaixo que você já estudou, ou já leu sobre:

- ☐ energia de ativação
- ☒ geometria de colisão
- ☐ complexo ativado
- ☐ colisão efetiva
- ☐ ordem de reação
- ☐ Lei da Ação das Massas
- ☐ molecularidade de reação
- ☒ catalisador

4- Descreva ou explique com suas palavras o que é uma *colisão efetiva* (apenas quando o quadradinho correspondente a esse conceito for assinalado).

5- No seu modelo, ou no seu entendimento, o que se pode afirmar sobre essas *colisões efetivas*:

- ☐ ocorrem ao acaso.
- ☐ são inelásticas.
- ☐ dependem da temperatura.
- ☐ dependem da orientação espacial das partículas.
- ☒ aumentam quando o número de partículas reagentes aumenta.
- ☐ ocorrem segundo uma lei matemática bem determinada, ou seja, podem ser previstas rigorosamente em quantidade e intensidade.

6- A *velocidade* de uma reação química qualquer, no seu entendimento, ou segundo o modelo que você aprendeu:

- ☒ depende da temperatura.
- ☒ depende dos estados físicos dos reagentes.
- ☐ depende da quantidade de partículas reagentes (concentração).
- ☒ depende da massa das partículas envolvidas (massa molecular).
- ☐ depende da relação pressão/volume do recipiente onde as partículas se encontram.
- ☐ não depende de nenhum desses fatores.

7- Caso uma reação química bimolecular, onde os reagentes alcançam a energia de ativação, fosse simulada num recipiente (como uma caixa fechada ou saco de cor escura) com bolinhas de isopor representando as partículas que reagem, como aconteceriam essas colisões? Acompanhe as instruções do pesquisador e você poderá responder às próximas perguntas sobre esse experimento.

ALUNO: _____

AMA

Obrigado por sua participação nesta pesquisa e pela sua disposição em nos ajudar a identificar alguns problemas de aprendizagem na disciplina de Química. Suas respostas serão muito valiosas para nossa investigação, por isso responda com sinceridade às questões a seguir.

1- Você já estudou, ou já leu, sobre como as reações químicas ocorrem num nível submicroscópico (nível de partículas)?

☐ SIM ☒ NÃO

2- Em caso positivo, descreva (com suas palavras) ou faça um desenho (do modelo que você aprendeu) que represente uma reação bimolecular, do tipo $A + B \rightarrow C$, onde um único produto é formado.

3- Assinale os conceitos listados abaixo que você já estudou, ou já leu sobre:

- ☒ energia de ativação
- ☒ geometria de colisão
- ☒ complexo ativado
- ☐ colisão efetiva
- ☒ ordem de reação
- ☒ Lei da Ação das Massas
- ☐ molecularidade de reação
- ☒ catalisador

4- Descreva ou explique com suas palavras o que é uma *colisão efetiva* (apenas quando o quadradinho correspondente a esse conceito for assinalado). *Colisão efetiva ocorre qndo há formação de produto.*

5- No seu modelo, ou no seu entendimento, o que se pode afirmar sobre essas *colisões efetivas*:

- ☐ ocorrem ao acaso.
- ☐ são inelásticas.
- ☐ dependem da temperatura.
- ☒ dependem da orientação espacial das partículas.
- ☐ aumentam quando o número de partículas reagentes aumenta.
- ☐ ocorrem segundo uma lei matemática bem determinada, ou seja, podem ser previstas rigorosamente em quantidade e intensidade.

6- A *velocidade* de uma reação química qualquer, no seu entendimento, ou segundo o modelo que você aprendeu:

- ☒ depende da temperatura.
- ☒ depende dos estados físicos dos reagentes.
- ☒ depende da quantidade de partículas reagentes (concentração).
- ☐ depende da massa das partículas envolvidas (massa molecular).
- ☐ depende da relação pressão/volume do recipiente onde as partículas se encontram.
- ☐ não depende de nenhum desses fatores.

7- Caso uma reação química bimolecular, onde os reagentes alcançam a energia de ativação, fosse simulada num recipiente (como uma caixa fechada ou saco de cor escura) com bolinhas de isopor representando as partículas que reagem, como aconteceriam essas colisões? Acompanhe as instruções do pesquisador e você poderá responder às próximas perguntas sobre esse experimento.

ALUNO:

ORL

Obrigado por sua participação nesta pesquisa e pela sua disposição em nos ajudar a identificar alguns problemas de aprendizagem na disciplina de Química. Suas respostas serão muito valiosas para nossa investigação, por isso responda com sinceridade às questões a seguir.

1- Você já estudou, ou já leu, sobre como as reações químicas ocorrem num nível submicroscópico (nível de partículas)?

☒ SIM ☐ NÃO

2- Em caso positivo, descreva (com suas palavras) ou faça um desenho (do modelo que você aprendeu) que represente uma reação bimolecular, do tipo $A + B \rightarrow C$, onde um único produto é formado.

3- Assinale os conceitos listados abaixo que você já estudou, ou já leu sobre:

- ☒ energia de ativação
- ☒ geometria de colisão
- ☒ complexo ativado
- ☒ colisão efetiva
- ☒ ordem de reação
- ☐ Lei da Ação das Massas
- ☐ molecularidade de reação
- ☒ catalisador

4- Descreva ou explique com suas palavras o que é uma *colisão efetiva* (apenas quando o quadradinho correspondente a esse conceito for assinalado).

5- No seu modelo, ou no seu entendimento, o que se pode afirmar sobre essas *colisões efetivas*:

- ☒ ocorrem ao acaso.
- ☒ são inelásticas.
- ☒ dependem da temperatura.
- ☐ dependem da orientação espacial das partículas.
- ☒ aumentam quando o número de partículas reagentes aumenta.
- ☐ ocorrem segundo uma lei matemática bem determinada, ou seja, podem ser previstas rigorosamente em quantidade e intensidade.

6- A *velocidade* de uma reação química qualquer, no seu entendimento, ou segundo o modelo que você aprendeu:

- ☒ depende da temperatura.
- ☒ depende dos estados físicos dos reagentes.
- ☒ depende da quantidade de partículas reagentes (concentração).
- ☐ depende da massa das partículas envolvidas (massa molecular).
- ☒ depende da relação pressão/volume do recipiente onde as partículas se encontram.
- ☐ não depende de nenhum desses fatores.

7- Caso uma reação química bimolecular, onde os reagentes alcançam a energia de ativação, fosse simulada num recipiente (como uma caixa fechada ou saco de cor escura) com bolinhas de isopor representando as partículas que reagem, como aconteceriam essas colisões? Acompanhe as instruções do pesquisador e você poderá responder às próximas perguntas sobre esse experimento.

LEV

ALUNO: _____

Obrigado por sua participação nesta pesquisa e pela sua disposição em nos ajudar a identificar alguns problemas de aprendizagem na disciplina de Química. Suas respostas serão muito valiosas para nossa investigação, por isso responda com sinceridade às questões a seguir.

1- Você já estudou, ou já leu, sobre como as reações químicas ocorrem num nível submicroscópico (nível de partículas)?

☒ SIM ☐ NÃO

2- Em caso positivo, descreva (com suas palavras) ou faça um desenho (do modelo que você aprendeu) que represente uma reação bimolecular, do tipo $A + B \rightarrow C$, onde um único produto é formado.

3- Assinale os conceitos listados abaixo que você já estudou, ou já leu sobre:

- ☒ energia de ativação
- ☒ geometria de colisão
- ☒ complexo ativado
- ☒ colisão efetiva (DESCOLAR) (DESEJAR)
- ☐ ordem de reação
- ☐ Lei da Ação das Massas
- ☒ molecularidade de reação
- ☒ catalisador

4- Descreva ou explique com suas palavras o que é uma *colisão efetiva* (apenas quando o quadradinho correspondente a esse conceito for assinalado).

5- No seu modelo, ou no seu entendimento, o que se pode afirmar sobre essas *colisões efetivas*:

- ☐ ocorrem ao acaso.
- ☐ são inelásticas.
- ☐ dependem da temperatura.
- ☐ dependem da orientação espacial das partículas.
- ☐ aumentam quando o número de partículas reagentes aumenta.
- ☐ ocorrem segundo uma lei matemática bem determinada, ou seja, podem ser previstas rigorosamente em quantidade e intensidade.

6- A *velocidade* de uma reação química qualquer, no seu entendimento, ou segundo o modelo que você aprendeu:

- ☒ depende da temperatura.
- ☒ depende dos estados físicos dos reagentes.
- ☐ depende da quantidade de partículas reagentes (concentração).
- ☐ depende da massa das partículas envolvidas (massa molecular).
- ☒ depende da relação pressão/volume do recipiente onde as partículas se encontram.
- ☐ não depende de nenhum desses fatores.

7- Caso uma reação química bimolecular, onde os reagentes alcançam a energia de ativação, fosse simulada num recipiente (como uma caixa fechada ou saco de cor escura) com bolinhas de isopor representando as partículas que reagem, como aconteceriam essas colisões? Acompanhe as instruções do pesquisador e você poderá responder às próximas perguntas sobre esse experimento.



LEA

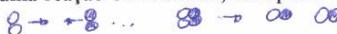
ALUNO: _____

Obrigado por sua participação nesta pesquisa e pela sua disposição em nos ajudar a identificar alguns problemas de aprendizagem na disciplina de Química. Suas respostas serão muito valiosas para nossa investigação, por isso responda com sinceridade às questões a seguir.

1- Você já estudou, ou já leu, sobre como as reações químicas ocorrem num nível submicroscópico (nível de partículas)?

☒ SIM ☐ NÃO

2- Em caso positivo, descreva (com suas palavras) ou faça um desenho (do modelo que você aprendeu) que represente uma reação bimolecular, do tipo $A + B \rightarrow C$, onde um único produto é formado.



3- Assinale os conceitos listados abaixo que você já estudou, ou já leu sobre:

- ☒ energia de ativação
- ☒ geometria de colisão
- ☒ complexo ativado
- ☒ colisão efetiva
- ☒ ordem de reação
- ☐ Lei da Ação das Massas
- ☐ molecularidade de reação
- ☒ catalisador

4- Descreva ou explique com suas palavras o que é uma *colisão efetiva* (apenas quando o quadradinho correspondente a esse conceito for assinalado). *Uma colisão efetiva ocorre quando a disposição geométrica das moléculas proporciona a formação do complexo ativado.*

5- No seu modelo, ou no seu entendimento, o que se pode afirmar sobre essas *colisões efetivas*:

- ☒ ocorrem ao acaso.
- ☐ são inelásticas.
- ☒ dependem da temperatura.
- ☒ dependem da orientação espacial das partículas.
- ☒ aumentam quando o número de partículas reagentes aumenta.
- ☐ ocorrem segundo uma lei matemática bem determinada, ou seja, podem ser previstas rigorosamente em quantidade e intensidade.

6- A *velocidade* de uma reação química qualquer, no seu entendimento, ou segundo o modelo que você aprendeu:

- ☒ depende da temperatura.
- ☒ depende dos estados físicos dos reagentes.
- ☒ depende da quantidade de partículas reagentes (concentração).
- ☐ depende da massa das partículas envolvidas (massa molecular).
- ☒ depende da relação pressão/volume do recipiente onde as partículas se encontram.
- ☐ não depende de nenhum desses fatores.

7- Caso uma reação química bimolecular, onde os reagentes alcançam a energia de ativação, fosse simulada num recipiente (como uma caixa fechada ou saco de cor escura) com bolinhas de isopor representando as partículas que reagem, como aconteceriam essas colisões? Acompanhe as instruções do pesquisador e você poderá responder às próximas perguntas sobre esse experimento.

As colisões ocorreriam ao acaso.

ALUNO: _____

THA

Obrigado por sua participação nesta pesquisa e pela sua disposição em nos ajudar a identificar alguns problemas de aprendizagem na disciplina de Química. Suas respostas serão muito valiosas para nossa investigação, por isso responda com sinceridade às questões a seguir.

1- Você já estudou, ou já leu, sobre como as reações químicas ocorrem num nível submicroscópico (nível de partículas)?

☒ SIM ☐ NÃO

2- Em caso positivo, descreva (com suas palavras) ou faça um desenho (do modelo que você aprendeu) que represente uma reação bimolecular, do tipo $A + B \rightarrow C$, onde um único produto é formado.

3- Assinale os conceitos listados abaixo que você já estudou, ou já leu sobre:

- ☒ energia de ativação
- ☒ geometria de colisão
- ☒ complexo ativado
- ☒ colisão efetiva
- ☐ ordem de reação
- ☐ Lei da Ação das Massas
- ☐ molecularidade de reação
- ☒ catalisador

4- Descreva ou explique com suas palavras o que é uma *colisão efetiva* (apenas quando o quadradinho correspondente a esse conceito for assinalado).

5- No seu modelo, ou no seu entendimento, o que se pode afirmar sobre essas *colisões efetivas*:

- ☐ ocorrem ao acaso.
- ☐ são inelásticas.
- ☐ dependem da temperatura.
- ☒ dependem da orientação espacial das partículas.
- ☒ aumentam quando o número de partículas reagentes aumenta.
- ☐ ocorrem segundo uma lei matemática bem determinada, ou seja, podem ser previstas rigorosamente em quantidade e intensidade.

6- A *velocidade* de uma reação química qualquer, no seu entendimento, ou segundo o modelo que você aprendeu:

- ☒ depende da temperatura.
- ☒ depende dos estados físicos dos reagentes.
- ☒ depende da quantidade de partículas reagentes (concentração).
- ☐ depende da massa das partículas envolvidas (massa molecular).
- ☒ depende da relação pressão/volume do recipiente onde as partículas se encontram.
- ☐ não depende de nenhum desses fatores.

7- Caso uma reação química bimolecular, onde os reagentes alcançam a energia de ativação, fosse simulada num recipiente (como uma caixa fechada ou saco de cor escura) com bolinhas de isopor representando as partículas que reagem, como aconteceriam essas colisões? Acompanhe as instruções do pesquisador e você poderá responder às próximas perguntas sobre esse experimento.

ALUNO: _

DIE

Obrigado por sua participação nesta pesquisa e pela sua disposição em nos ajudar a identificar alguns problemas de aprendizagem na disciplina de Química. Suas respostas serão muito valiosas para nossa investigação, por isso responda com sinceridade às questões a seguir.

1- Você já estudou, ou já leu, sobre como as reações químicas ocorrem num nível submicroscópico (nível de partículas)?

☒ SIM ☐ NÃO

2- Em caso positivo, descreva (com suas palavras) ou faça um desenho (do modelo que você aprendeu) que represente uma reação bimolecular, do tipo $A + B \rightarrow C$, onde um único produto é formado.

Não lembro

3- Assinale os conceitos listados abaixo que você já estudou, ou já leu sobre:

- ☒ energia de ativação
- ☐ geometria de colisão
- ☐ complexo ativado
- ☒ colisão efetiva
- ☐ ordem de reação
- ☐ Lei da Ação das Massas
- ☐ molecularidade de reação
- ☒ catalisador

4- Descreva ou explique com suas palavras o que é uma *colisão efetiva* (apenas quando o quadradinho correspondente a esse conceito for assinalado).

Não lembro

5- No seu modelo, ou no seu entendimento, o que se pode afirmar sobre essas *colisões efetivas*:

- ☐ ocorrem ao acaso.
- ☐ são inelásticas.
- ☒ dependem da temperatura.
- ☐ dependem da orientação espacial das partículas.
- ☐ aumentam quando o número de partículas reagentes aumenta.
- ☐ ocorrem segundo uma lei matemática bem determinada, ou seja, podem ser previstas rigorosamente em quantidade e intensidade.

6- A *velocidade* de uma reação química qualquer, no seu entendimento, ou segundo o modelo que você aprendeu:

- ☐ depende da temperatura.
- ☐ depende dos estados físicos dos reagentes.
- ☒ depende da quantidade de partículas reagentes (concentração).
- ☐ depende da massa das partículas envolvidas (massa molecular).
- ☐ depende da relação pressão/volume do recipiente onde as partículas se encontram.
- ☐ não depende de nenhum desses fatores.

7- Caso uma reação química bimolecular, onde os reagentes alcançam a energia de ativação, fosse simulada num recipiente (como uma caixa fechada ou saco de cor escura) com bolinhas de isopor representando as partículas que reagem, como aconteceriam essas colisões? Acompanhe as instruções do pesquisador e você poderá responder às próximas perguntas sobre esse experimento.

ALUNO:

CRI

Obrigado por sua participação nesta pesquisa e pela sua disposição em nos ajudar a identificar alguns problemas de aprendizagem na disciplina de Química. Suas respostas serão muito valiosas para nossa investigação, por isso responda com sinceridade às questões a seguir.

1- Você já estudou, ou já leu, sobre como as reações químicas ocorrem num nível submicroscópico (nível de partículas)?

☒ SIM ☐ NÃO

2- Em caso positivo, descreva (com suas palavras) ou faça um desenho (do modelo que você aprendeu) que represente uma reação bimolecular, do tipo $A + B \rightarrow C$, onde um único produto é formado.

3- Assinale os conceitos listados abaixo que você já estudou, ou já leu sobre:

- ☒ energia de ativação
- ☒ geometria de colisão
- ☒ complexo ativado
- ☒ colisão efetiva
- ☒ ordem de reação
- ☐ Lei da Ação das Massas
- ☒ molecularidade de reação
- ☒ catalisador

4- Descreva ou explique com suas palavras o que é uma *colisão efetiva* (apenas quando o quadradinho correspondente a esse conceito for assinalado).

5- No seu modelo, ou no seu entendimento, o que se pode afirmar sobre essas *colisões efetivas*:

- ☒ ocorrem ao acaso.
- ☒ são inelásticas.
- ☒ dependem da temperatura.
- ☒ dependem da orientação espacial das partículas.
- ☒ aumentam quando o número de partículas reagentes aumenta.
- ☐ ocorrem segundo uma lei matemática bem determinada, ou seja, podem ser previstas rigorosamente em quantidade e intensidade.

6- A *velocidade* de uma reação química qualquer, no seu entendimento, ou segundo o modelo que você aprendeu:

- ☒ depende da temperatura.
- ☒ depende dos estados físicos dos reagentes.
- ☒ depende da quantidade de partículas reagentes (concentração).
- ☐ depende da massa das partículas envolvidas (massa molecular).
- ☒ depende da relação pressão/volume do recipiente onde as partículas se encontram.
- ☐ não depende de nenhum desses fatores.

7- Caso uma reação química bimolecular, onde os reagentes alcançam a energia de ativação, fosse simulada num recipiente (como uma caixa fechada ou saco de cor escura) com bolinhas de isopor representando as partículas que reagem, como aconteceriam essas colisões? Acompanhe as instruções do pesquisador e você poderá responder às próximas perguntas sobre esse experimento.

CES

ALUNO: _____

Obrigado por sua participação nesta pesquisa e pela sua disposição em nos ajudar a identificar alguns problemas de aprendizagem na disciplina de Química. Suas respostas serão muito valiosas para nossa investigação, por isso responda com sinceridade às questões a seguir.

1- Você já estudou, ou já leu, sobre como as reações químicas ocorrem num nível submicroscópico (nível de partículas)?

☒ SIM ☐ NÃO

2- Em caso positivo, descreva (com suas palavras) ou faça um desenho (do modelo que você aprendeu) que represente uma reação bimolecular, do tipo $A + B \rightarrow C$, onde um único produto é formado.

3- Assinale os conceitos listados abaixo que você já estudou, ou já leu sobre:

- ☒ energia de ativação
- ☒ geometria de colisão
- ☒ complexo ativado
- ☒ colisão efetiva
- ☒ ordem de reação
- ☒ Lei da Ação das Massas
- ☒ molecularidade de reação
- ☒ catalisador

4- Descreva ou explique com suas palavras o que é uma *colisão efetiva* (apenas quando o quadradinho correspondente a esse conceito for assinalado).

5- No seu modelo, ou no seu entendimento, o que se pode afirmar sobre essas *colisões efetivas*:

- ☒ ocorrem ao acaso.
- ☐ são inelásticas.
- ☒ dependem da temperatura.
- ☒ dependem da orientação espacial das partículas.
- ☒ aumentam quando o número de partículas reagentes aumenta.
- ☐ ocorrem segundo uma lei matemática bem determinada, ou seja, podem ser previstas rigorosamente em quantidade e intensidade.

6- A *velocidade* de uma reação química qualquer, no seu entendimento, ou segundo o modelo que você aprendeu:

- ☒ depende da temperatura.
- ☒ depende dos estados físicos dos reagentes.
- ☒ depende da quantidade de partículas reagentes (concentração).
- ☐ depende da massa das partículas envolvidas (massa molecular).
- ☒ depende da relação pressão/volume do recipiente onde as partículas se encontram.
- ☐ não depende de nenhum desses fatores.

7- Caso uma reação química bimolecular, onde os reagentes alcançam a energia de ativação, fosse simulada num recipiente (como uma caixa fechada ou saco de cor escura) com bolinhas de isopor representando as partículas que reagem, como aconteceriam essas colisões? Acompanhe as instruções do pesquisador e você poderá responder às próximas perguntas sobre esse experimento.

ISA

ALUNO: _____

Obrigado por sua participação nesta pesquisa e pela sua disposição em nos ajudar a identificar alguns problemas de aprendizagem na disciplina de Química. Suas respostas serão muito valiosas para nossa investigação, por isso responda com sinceridade às questões a seguir.

1- Você já estudou, ou já leu, sobre como as reações químicas ocorrem num nível submicroscópico (nível de partículas)?

☒ SIM ☐ NÃO

2- Em caso positivo, descreva (com suas palavras) ou faça um desenho (do modelo que você aprendeu) que represente uma reação bimolecular, do tipo $A + B \rightarrow C$, onde um único produto é formado.

3- Assinale os conceitos listados abaixo que você já estudou, ou já leu sobre:

- ☒ energia de ativação
- ☒ geometria de colisão
- ☒ complexo ativado
- ☒ colisão efetiva
- ☒ ordem de reação
- ☒ Lei da Ação das Massas
- ☒ molecularidade de reação
- ☒ catalisador

4- Descreva ou explique com suas palavras o que é uma *colisão efetiva* (apenas quando o quadradinho correspondente a esse conceito for assinalado).

5- No seu modelo, ou no seu entendimento, o que se pode afirmar sobre essas *colisões efetivas*:

- ☐ ocorrem ao acaso.
- ☒ são inelásticas.
- ☒ dependem da temperatura.
- ☒ dependem da orientação espacial das partículas.
- ☐ aumentam quando o número de partículas reagentes aumenta.
- ☐ ocorrem segundo uma lei matemática bem determinada, ou seja, podem ser previstas rigorosamente em quantidade e intensidade.

6- A *velocidade* de uma reação química qualquer, no seu entendimento, ou segundo o modelo que você aprendeu:

- ☒ depende da temperatura.
- ☒ depende dos estados físicos dos reagentes.
- ☐ depende da quantidade de partículas reagentes (concentração).
- ☒ depende da massa das partículas envolvidas (massa molecular).
- ☒ depende da relação pressão/volume do recipiente onde as partículas se encontram.
- ☐ não depende de nenhum desses fatores.

7- Caso uma reação química bimolecular, onde os reagentes alcançam a energia de ativação, fosse simulada num recipiente (como uma caixa fechada ou saco de cor escura) com bolinhas de isopor representando as partículas que reagem, como aconteceriam essas colisões? Acompanhe as instruções do pesquisador e você poderá responder às próximas perguntas sobre esse experimento.

ALUNO: _____

IGO

Obrigado por sua participação nesta pesquisa e pela sua disposição em nos ajudar a identificar alguns problemas de aprendizagem na disciplina de Química. Suas respostas serão muito valiosas para nossa investigação, por isso responda com sinceridade às questões a seguir.

1- Você já estudou, ou já leu, sobre como as reações químicas ocorrem num nível submicroscópico (nível de partículas)?

☒ SIM ☐ NÃO

2- Em caso positivo, descreva (com suas palavras) ou faça um desenho (do modelo que você aprendeu) que represente uma reação bimolecular, do tipo $A + B \rightarrow C$, onde um único produto é formado.

3- Assinale os conceitos listados abaixo que você já estudou, ou já leu sobre:

- ☒ energia de ativação
- ☒ geometria de colisão
- ☒ complexo ativado
- ☒ colisão efetiva
- ☒ ordem de reação
- ☒ Lei da Ação das Massas
- ☐ molecularidade de reação
- ☒ catalisador

4- Descreva ou explique com suas palavras o que é uma *colisão efetiva* (apenas quando o quadradinho correspondente a esse conceito for assinalado). *É quando as moléculas se tocam, de uma maneira que possibilita uma reação com formação de produto.*

5- No seu modelo, ou no seu entendimento, o que se pode afirmar sobre essas *colisões efetivas*:

- ☒ ocorrem ao acaso.
- ☐ são inelásticas.
- ☒ dependem da temperatura.
- ☒ dependem da orientação espacial das partículas.
- ☒ aumentam quando o número de partículas reagentes aumenta.
- ☐ ocorrem segundo uma lei matemática bem determinada, ou seja, podem ser previstas rigorosamente em quantidade e intensidade.

6- A *velocidade* de uma reação química qualquer, no seu entendimento, ou segundo o modelo que você aprendeu:

- ☒ depende da temperatura.
- ☒ depende dos estados físicos dos reagentes.
- ☒ depende da quantidade de partículas reagentes (concentração).
- ☒ depende da massa das partículas envolvidas (massa molecular).
- ☒ depende da relação pressão/volume do recipiente onde as partículas se encontram.
- ☐ não depende de nenhum desses fatores.

7- Caso uma reação química bimolecular, onde os reagentes alcançam a energia de ativação, fosse simulada num recipiente (como uma caixa fechada ou saco de cor escura) com bolinhas de isopor representando as partículas que reagem, como aconteceriam essas colisões? Acompanhe as instruções do pesquisador e você poderá responder às próximas perguntas sobre esse experimento.

ALUNO:

BRU

Obrigado por sua participação nesta pesquisa e pela sua disposição em nos ajudar a identificar alguns problemas de aprendizagem na disciplina de Química. Suas respostas serão muito valiosas para nossa investigação, por isso responda com sinceridade às questões a seguir.

1- Você já estudou, ou já leu, sobre como as reações químicas ocorrem num nível submicroscópico (nível de partículas)?

☒ SIM ☐ NÃO

2- Em caso positivo, descreva (com suas palavras) ou faça um desenho (do modelo que você aprendeu) que represente uma reação bimolecular, do tipo $A + B \rightarrow C$, onde um único produto é formado.

3- Assinale os conceitos listados abaixo que você já estudou, ou já leu sobre:

- ☒ energia de ativação
- ☐ geometria de colisão
- ☐ complexo ativado
- ☒ colisão efetiva
- ☒ ordem de reação
- ☐ Lei da Ação das Massas
- ☒ molecularidade de reação
- ☒ catalisador

4- Descreva ou explique com suas palavras o que é uma *colisão efetiva* (apenas quando o quadradinho correspondente a esse conceito for assinalado).

5- No seu modelo, ou no seu entendimento, o que se pode afirmar sobre essas *colisões efetivas*:

- ☐ ocorrem ao acaso.
- ☐ são inelásticas.
- ☐ dependem da temperatura.
- ☐ dependem da orientação espacial das partículas.
- ☒ aumentam quando o número de partículas reagentes aumenta.
- ☐ ocorrem segundo uma lei matemática bem determinada, ou seja, podem ser previstas rigorosamente em quantidade e intensidade.

6- A *velocidade* de uma reação química qualquer, no seu entendimento, ou segundo o modelo que você aprendeu:

- ☐ depende da temperatura.
- ☐ depende dos estados físicos dos reagentes.
- ☐ depende da quantidade de partículas reagentes (concentração).
- ☐ depende da massa das partículas envolvidas (massa molecular).
- ☒ depende da relação pressão/volume do recipiente onde as partículas se encontram.
- ☐ não depende de nenhum desses fatores.

7- Caso uma reação química bimolecular, onde os reagentes alcançam a energia de ativação, fosse simulada num recipiente (como uma caixa fechada ou saco de cor escura) com bolinhas de isopor representando as partículas que reagem, como aconteceriam essas colisões? Acompanhe as instruções do pesquisador e você poderá responder às próximas perguntas sobre esse experimento.

RAF

ALUNO: _____

Obrigado por sua participação nesta pesquisa e pela sua disposição em nos ajudar a identificar alguns problemas de aprendizagem na disciplina de Química. Suas respostas serão muito valiosas para nossa investigação, por isso responda com sinceridade às questões a seguir.

1- Você já estudou, ou já leu, sobre como as reações químicas ocorrem num nível submicroscópico (nível de partículas)?

☒ SIM ☐ NÃO

2- Em caso positivo, descreva (com suas palavras) ou faça um desenho (do modelo que você aprendeu) que represente uma reação bimolecular, do tipo $A + B \rightarrow C$, onde um único produto é formado.

3- Assinale os conceitos listados abaixo que você já estudou, ou já leu sobre:

- ☒ energia de ativação
- ☒ geometria de colisão
- ☒ complexo ativado
- ☐ colisão efetiva
- ☐ ordem de reação
- ☐ Lei da Ação das Massas
- ☐ molecularidade de reação
- ☒ catalisador

4- Descreva ou explique com suas palavras o que é uma *colisão efetiva* (apenas quando o quadradinho correspondente a esse conceito for assinalado).

5- No seu modelo, ou no seu entendimento, o que se pode afirmar sobre essas *colisões efetivas*:

- ☒ ocorrem ao acaso.
- ☐ são inelásticas.
- ☒ dependem da temperatura.
- ☐ dependem da orientação espacial das partículas.
- ☐ aumentam quando o número de partículas reagentes aumenta.
- ☐ ocorrem segundo uma lei matemática bem determinada, ou seja, podem ser previstas rigorosamente em quantidade e intensidade.

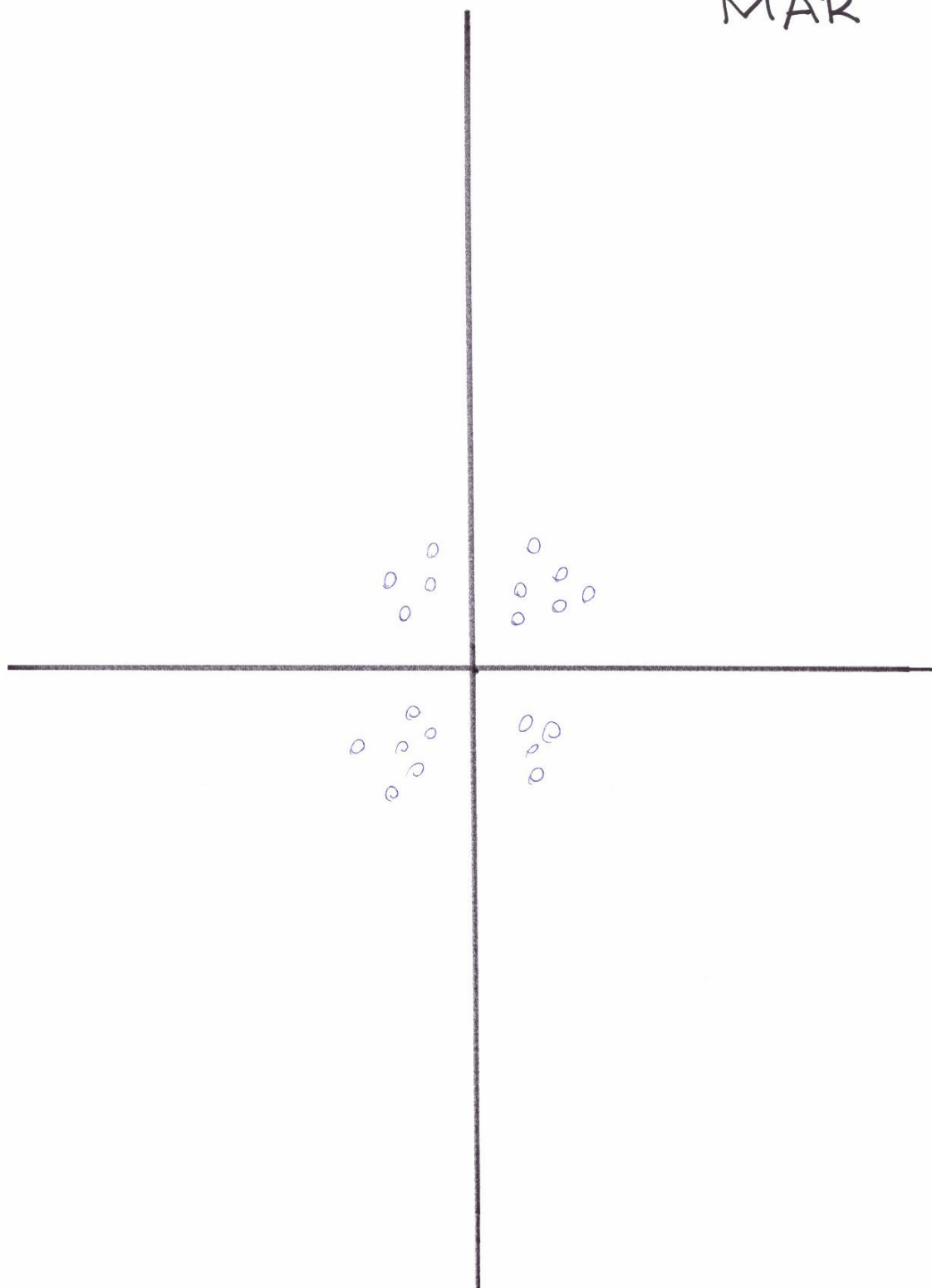
6- A *velocidade* de uma reação química qualquer, no seu entendimento, ou segundo o modelo que você aprendeu:

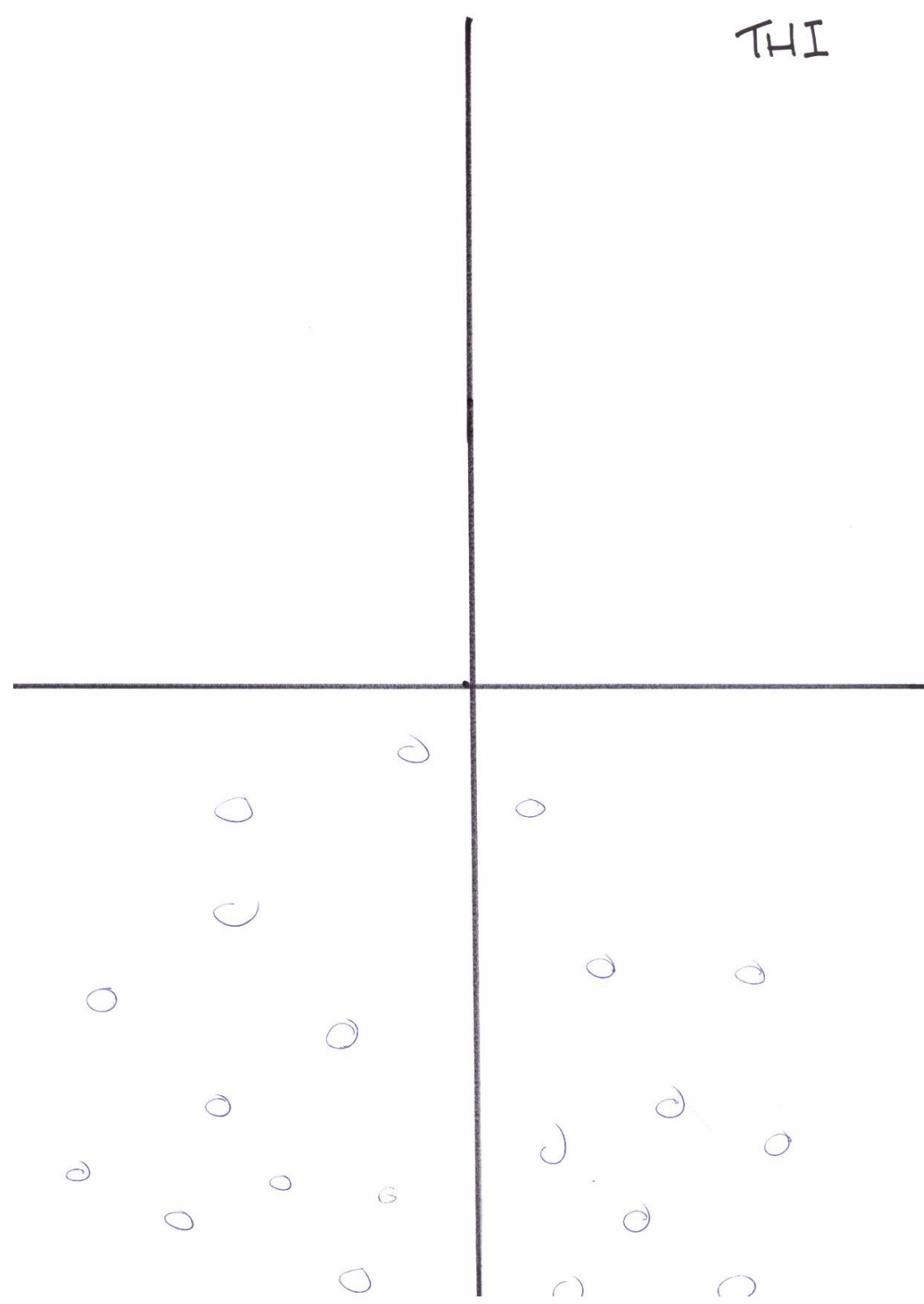
- ☒ depende da temperatura.
- ☒ depende dos estados físicos dos reagentes.
- ☐ depende da quantidade de partículas reagentes (concentração).
- ☐ depende da massa das partículas envolvidas (massa molecular).
- ☒ depende da relação pressão/volume do recipiente onde as partículas se encontram.
- ☐ não depende de nenhum desses fatores.

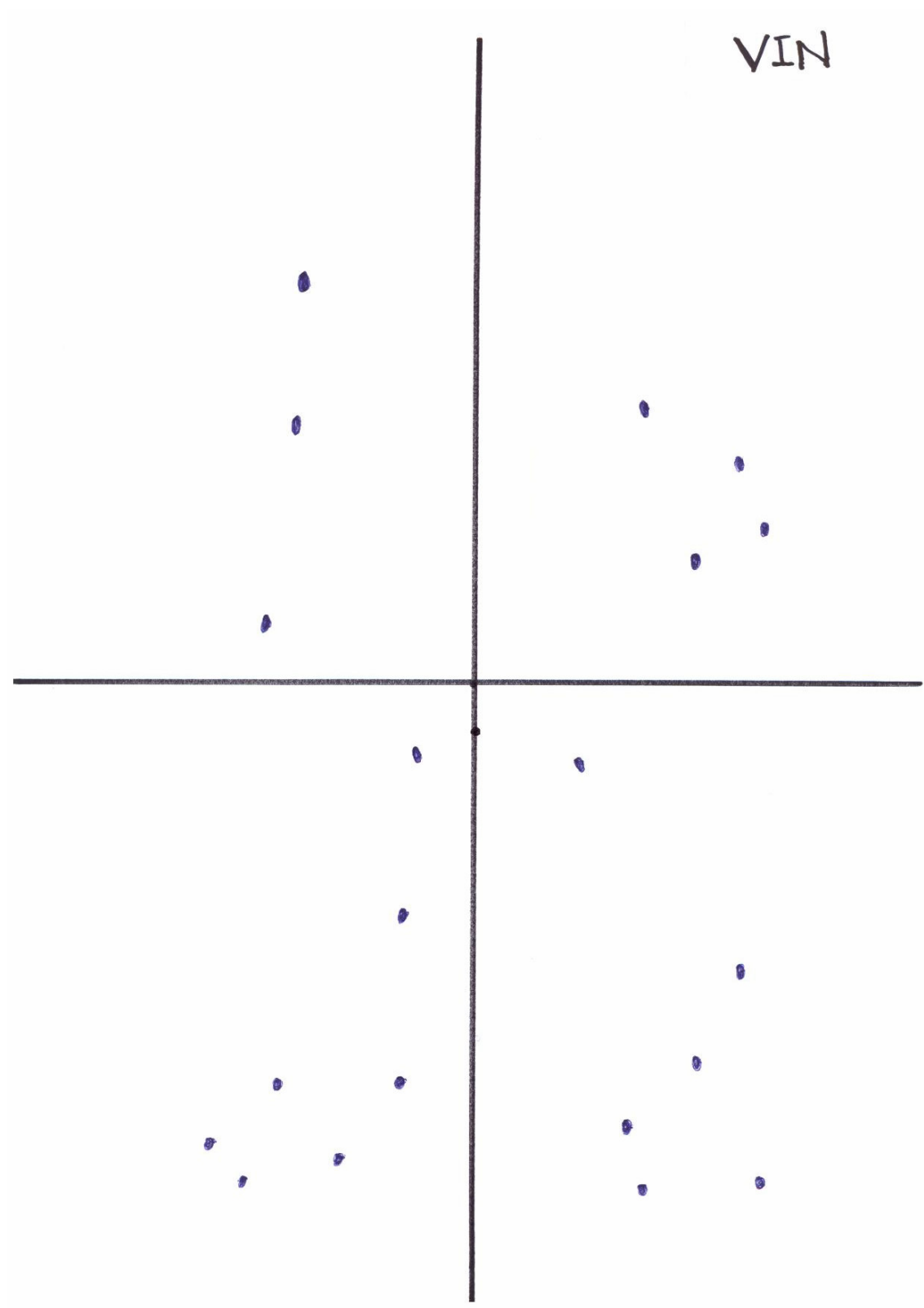
7- Caso uma reação química bimolecular, onde os reagentes alcançam a energia de ativação, fosse simulada num recipiente (como uma caixa fechada ou saco de cor escura) com bolinhas de isopor representando as partículas que reagem, como aconteceriam essas colisões? Acompanhe as instruções do pesquisador e você poderá responder às próximas perguntas sobre esse experimento.

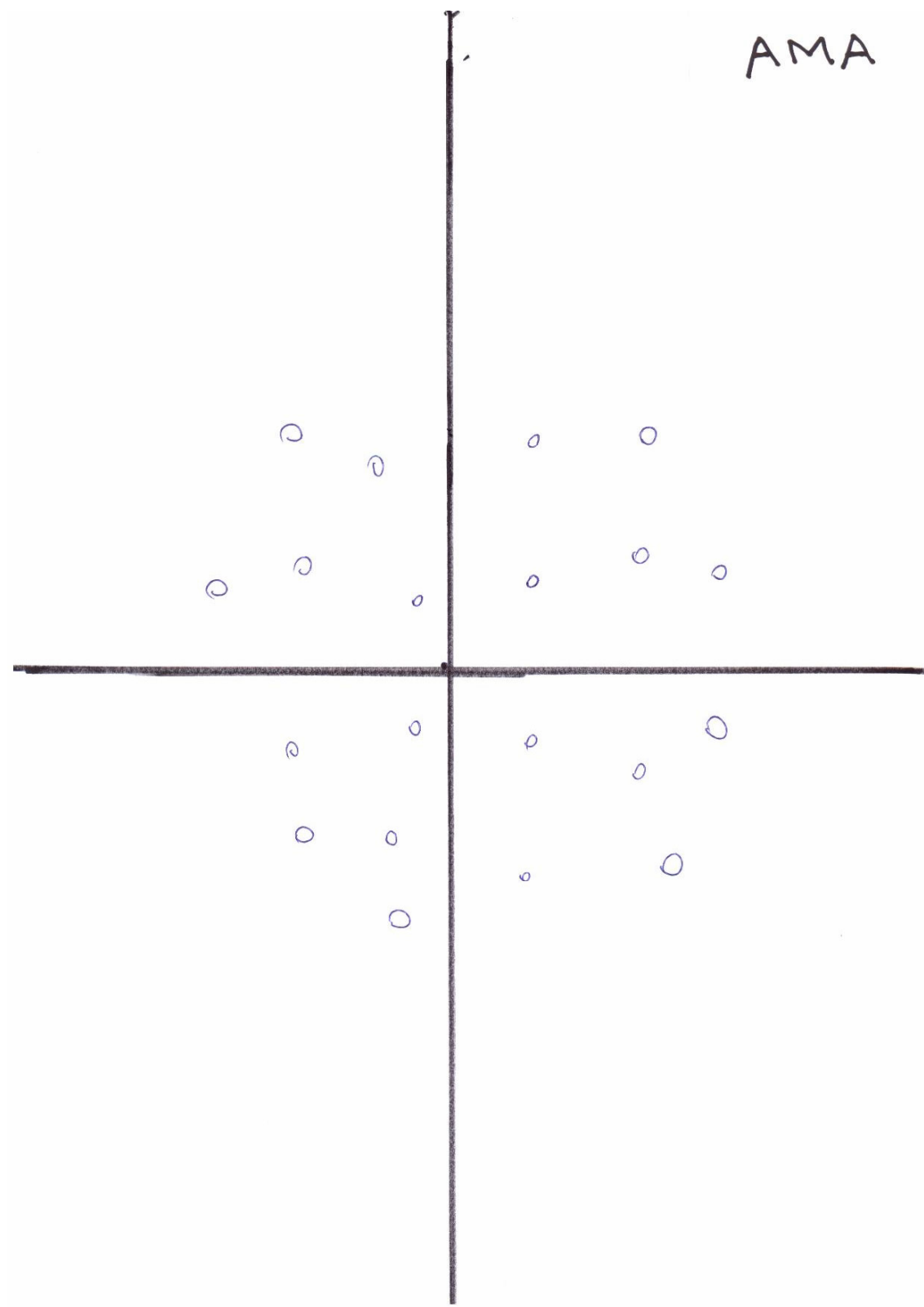
Teste de distribuição Uniforme (Pré-Teste II)

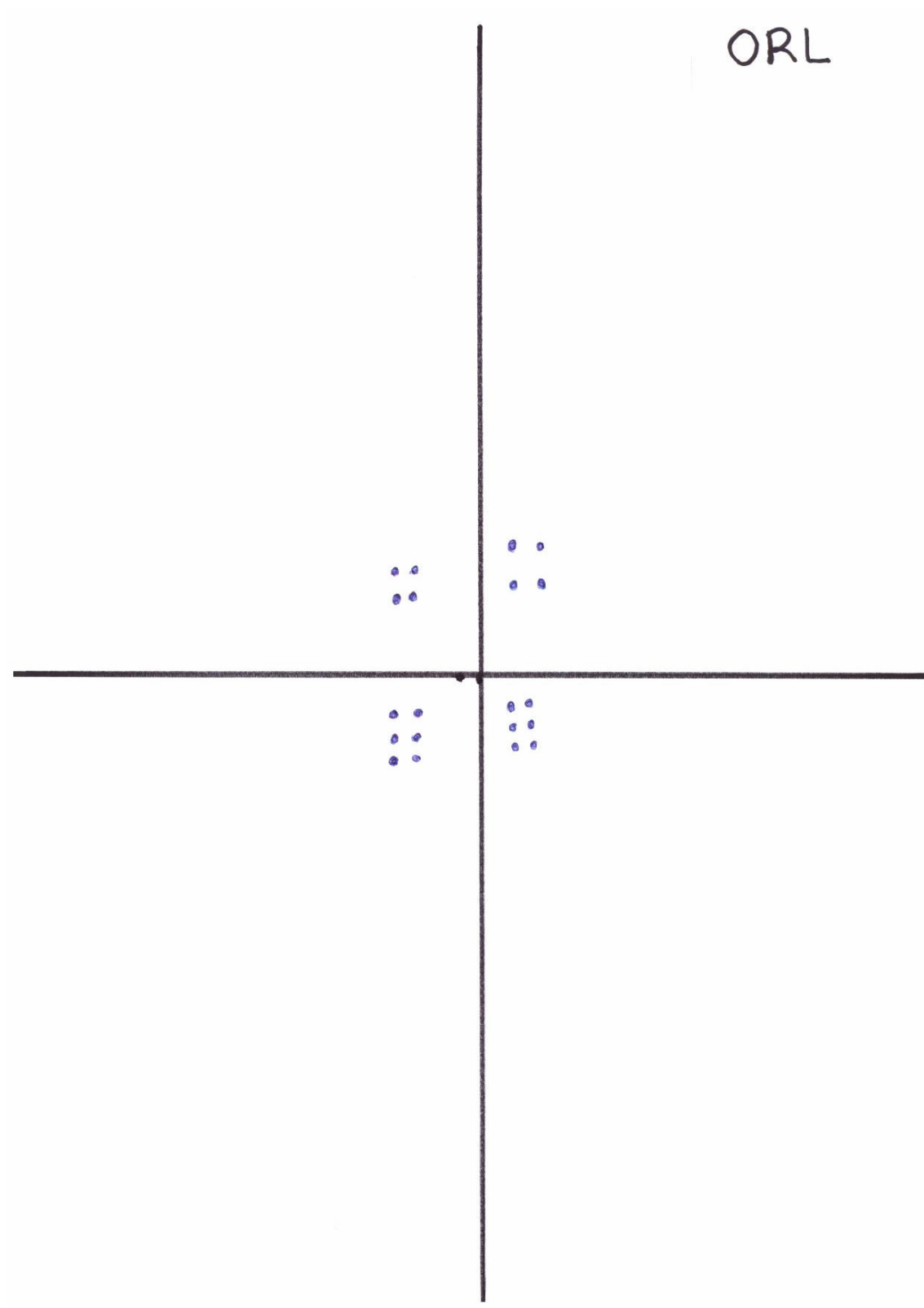
MAR

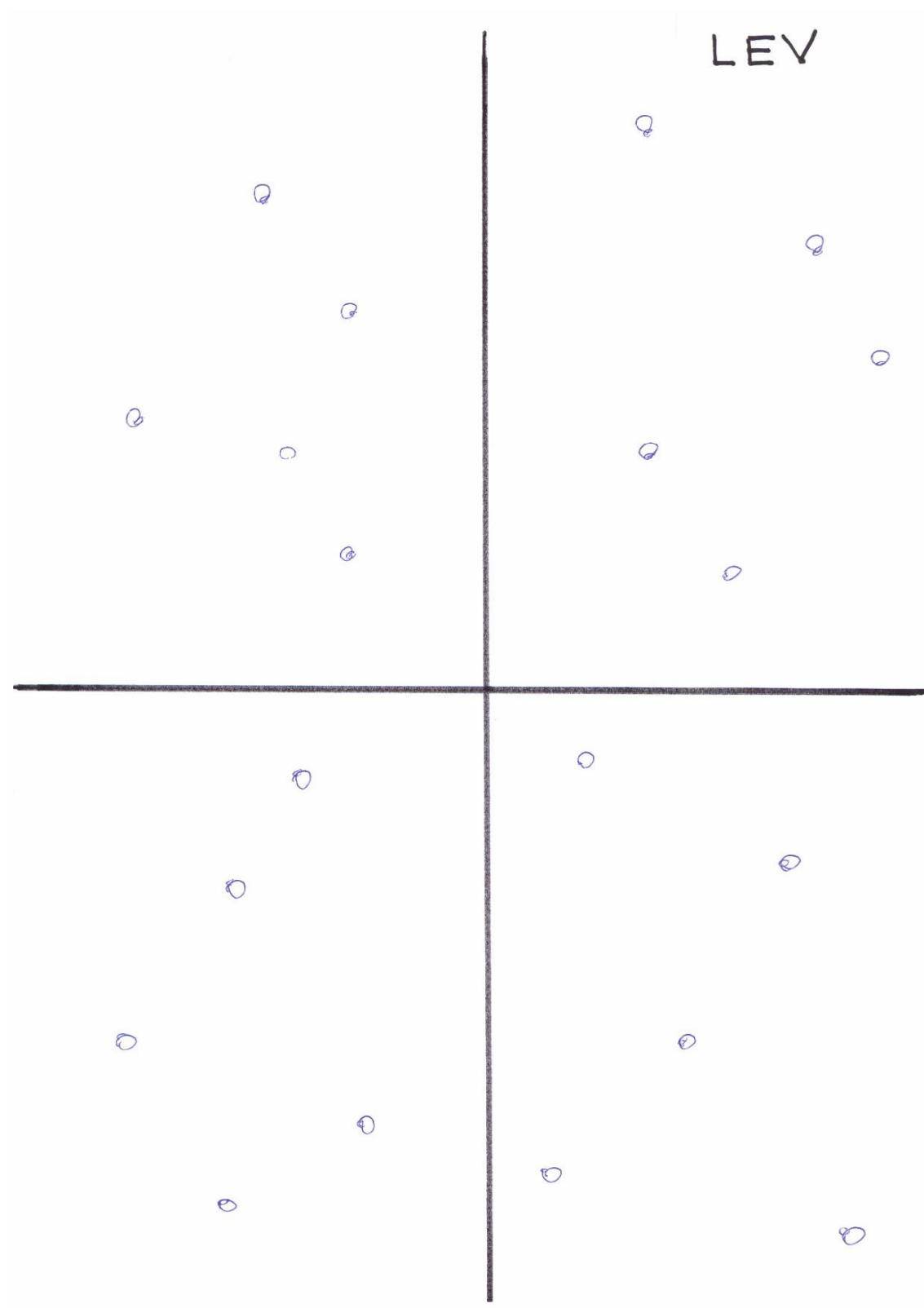




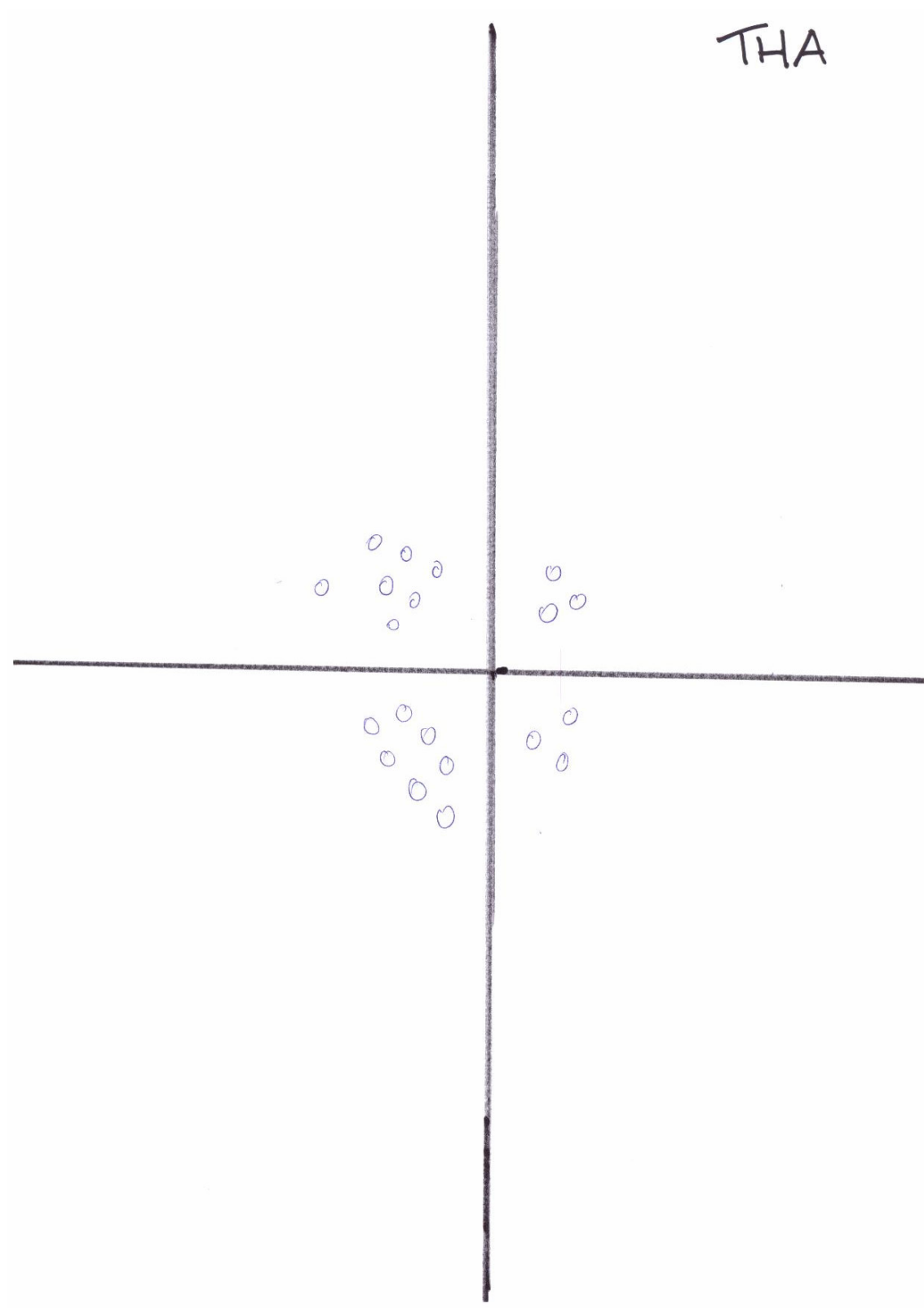






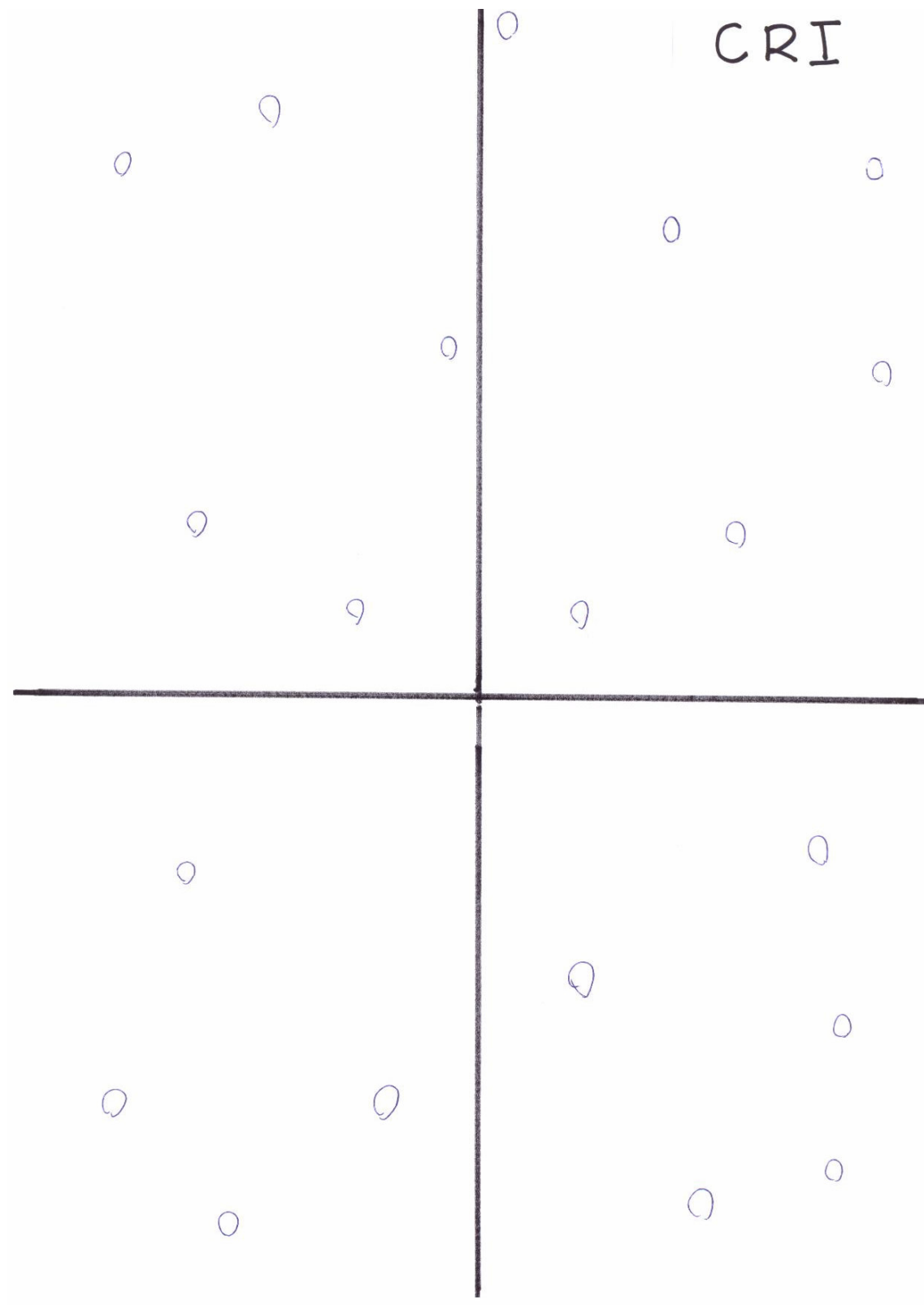


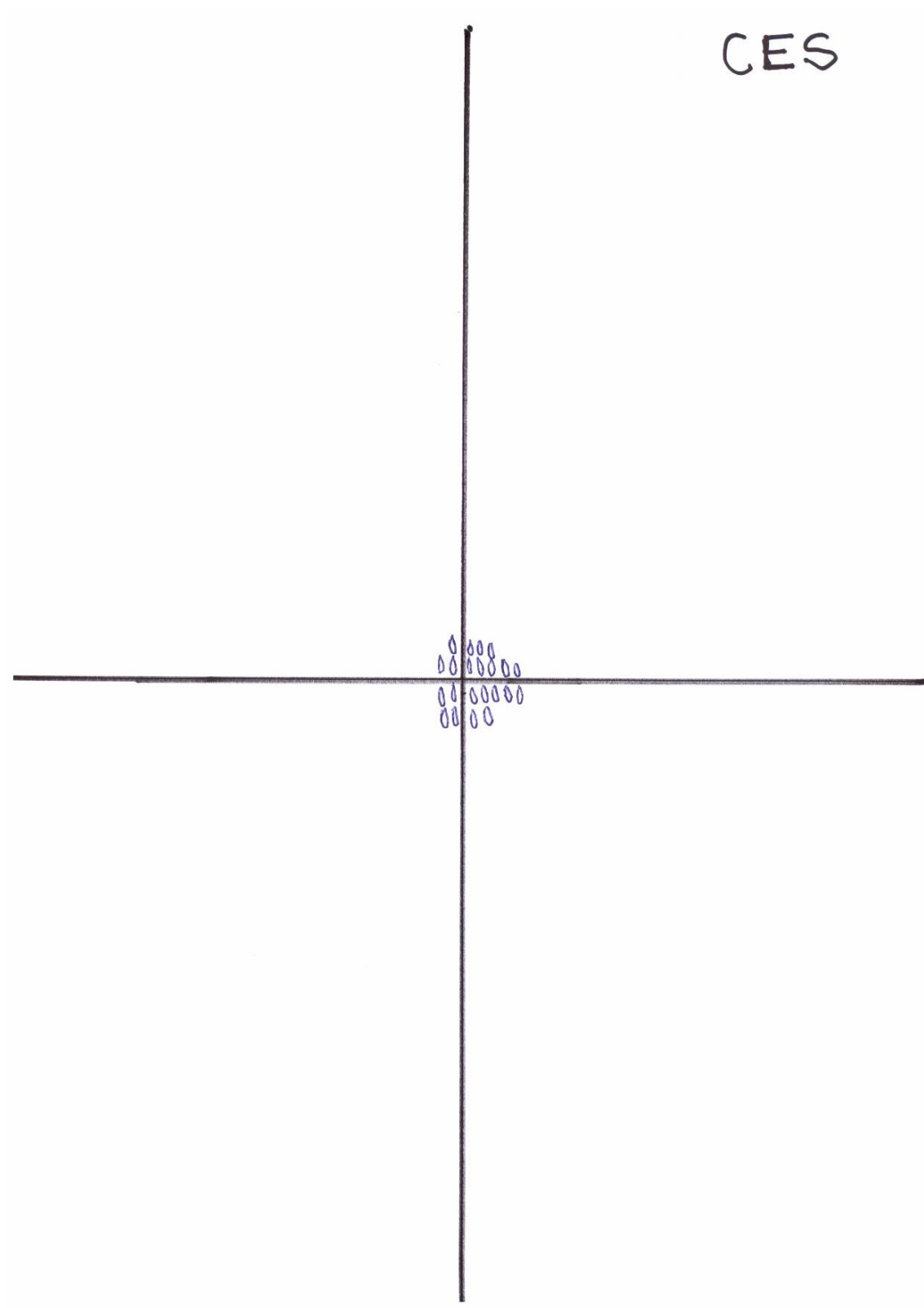


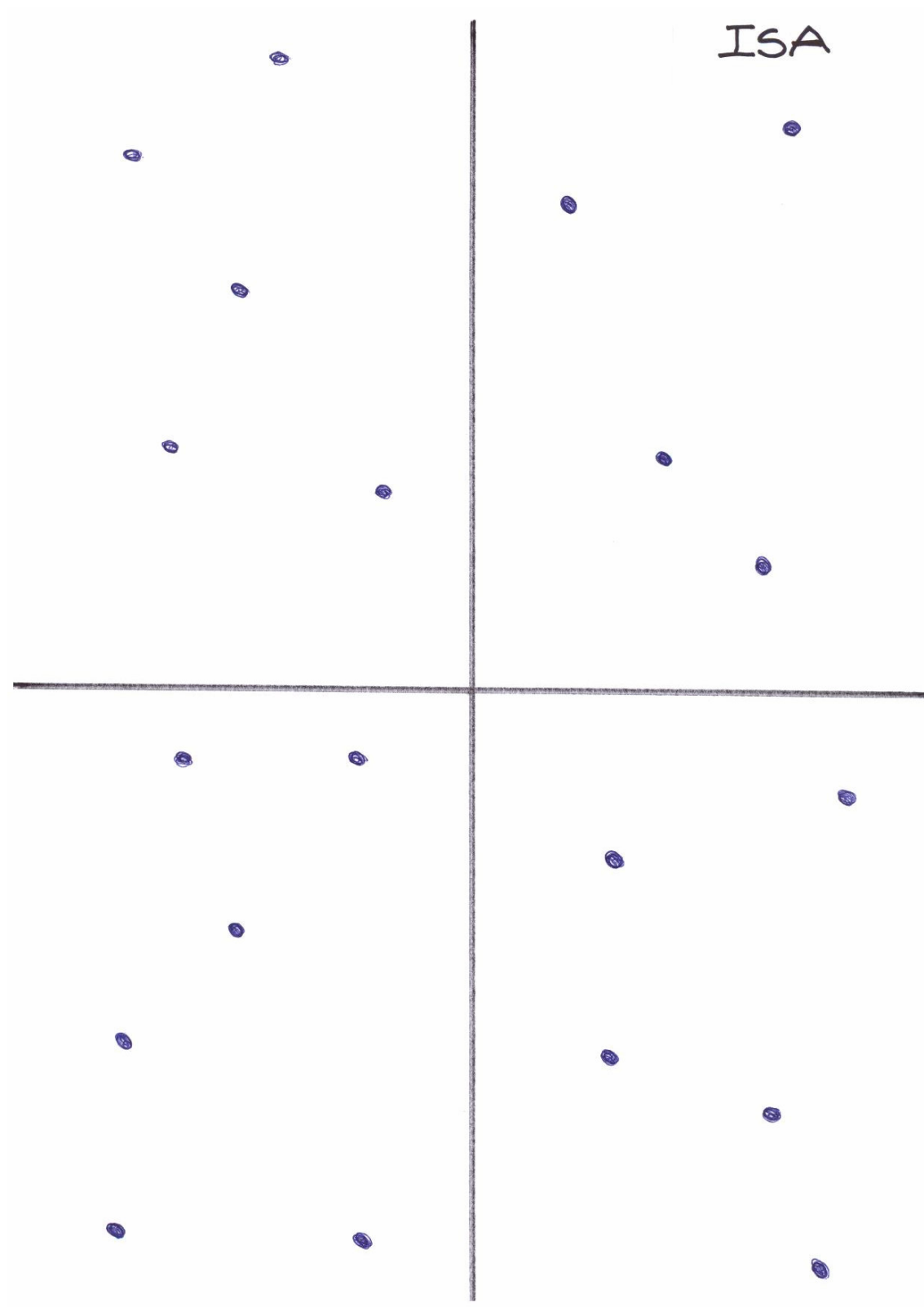


DIE









IGO

