

Além das aparências:

Concepções espontâneas* dos alunos sobre conceitos básicos de Química¹

Relatório de pesquisa elaborado para a Sociedade Real de Química

Vanessa Barker

**Professora em Ciência da Educação
Grupo de Ciência e Tecnologia
Instituto de Educação, Universidade de London
20 Bedford Way
London WC 1H 0AL**

Telefone: 020 76 12 67 80

Fax: 020 76 12 67 92

Email: y.barker@ioe.ac.uk, Vanessa.Barker@btinternet.com

* Foi escolhida a expressão “concepções espontâneas” ao invés de “concepções errôneas” para traduzir a palavra “misconceptions”, visto que especialistas da área chegaram à conclusão de que “misconception” não é uma “concepção errônea” propriamente, mas se refere aos “conhecimentos adquiridos pelos alunos de forma não sistematizada ao longo de sua vida. Conhecimentos estes que são muito resistentes a mudanças mesmo após longos anos de escolarização.”(Loguercio, R. ,Dissertação, 1999) No entanto, estes mesmos conhecimentos são usados para ajudar os alunos a aprenderem determinado conceito de uma maneira mais científica. Por isso a concepção ou conhecimento deles não é errôneo, mas espontâneo.

¹ Este texto é uma tradução do relatório de pesquisa em Inglês com o título *Beyond Appearances: Students' misconceptions about basic chemical ideas*, de autoria da Professora em Ciência da Educação *Vanessa Barker*. A versão original está disponível no site: www.chemsoc.org/networks/learnnet/miscon.htm
A tradução para o português foi elaborada pela Bacharel Susana de Azeredo.

Sumário

O relatório de pesquisa apresenta uma síntese de pesquisas baseadas nas concepções espontâneas dos alunos em onze áreas conceituais de química. São elas: estados da matéria; teoria sobre partículas; mudanças de estado; distinção entre: elementos, compostos e misturas; transformações química e física; transformações químicas em sistema aberto e em sistema fechado; ácidos, bases e neutralização; estequiometria; ligação química; termodinâmica e equilíbrio químico.

A pesquisa mostra que muitos alunos entre 11 e 18 anos, provavelmente, terão concepções espontâneas nessas áreas. As concepções espontâneas mais significativas são descritas e discutidas junto com, quando possível, indicações sobre a origem dessas concepções.

As implicações para o ensino de química são discutidas. Essas questões apontam para a necessidade de uma mudança nas nossas estratégias de ensino, principalmente com alunos com menos de 16 anos. São feitas sugestões para o progresso (progress) no ensino em cada uma das áreas. Essas sugestões são baseadas em alguns casos da própria experiência da autora em ensino e pesquisa.

A discussão fornece sugestões para trabalhos futuros. Há uma necessidade de rever como ensinamos os conceitos básicos de química, que comprometem nosso tema, a fim de ajudar os alunos a desenvolver as visões básicas, exigidas para um progresso mais profundo. Entre os pontos salientados, há uma necessidade de estabelecer um entendimento de como os professores ensinam, para compartilhar o que “funciona” e desenvolver melhorias na nossa prática.

Índice

Seção	Página
Sumário	2
Índice	3
1 Estados da matéria	5
1.1 Uma visão espontânea sobre matéria	6
1.2 Gases	6
1.3 Idéias espontâneas sobre as propriedades da matéria	6
1.4 Implicações para o ensino	7
2 Os conceitos dos alunos sobre a natureza da matéria em partículas	8
2.1 A matéria é feita de partículas separadas	9
2.2 As partículas estão em constante movimento randômico	10
2.3 O espaço entre as partículas é “vazio”	11
2.4 Há “ligações” ou “forças” entre as partículas	11
2.5 Implicações para o ensino	12
2.6 Sugestões para o progresso no ensino	13
3 Os conceitos dos alunos sobre as mudanças de estado	15
3.1 O comportamento dos gases	15
3.2 Evaporação	16
3.3 Condensação	18
3.4 Fusão	19
3.5 Congelamento	20
3.6 Implicações para o ensino	20
3.7 Sugestões para o progresso no ensino	20
4 Os conceitos dos alunos sobre as diferenças entre elementos, compostos e misturas	22
4.1 Fazendo as distinções	22
4.2 Implicações para o ensino	24
5 Os conceitos dos alunos sobre transformações químicas	24
5.1 “Reações químicas”	25
5.2 Afinal, o que é uma “reação química”?	26
5.3 O que é uma “substância”? : entendendo a terminologia química	27
5.4 Ensinando sobre reações químicas	29
5.5 Implicações para o ensino	32
5.6 Sugestões para o progresso no ensino	32
6 Os conceitos dos alunos sobre transformações químicas específicas	33
6.1 Os conceitos dos alunos sobre transformações químicas em sistema fechado	33
6.1.1 Fósforo e oxigênio em um recipiente lacrado	33
6.1.2 Precipitação	34
6.1.3 Dissolução	35
6.1.4 Dissolvendo um comprimido efervescente em água	37
6.2 Os conceitos dos alunos sobre transformações químicas em sistema aberto	38
6.2.1 A origem da ferrugem	38

6.2.2	A reação entre o cobre e o oxigênio	39
6.2.3	Queimando palha de aço (ou de ferro)	40
6.2.4	Queimando uma vela	41
6.2.5	Queimando butano	43
6.2.6	Queimando gasolina	44
6.3	Implicações para o ensino	45
6.4	Sugestões para o progresso no ensino	46
7	Ácidos, bases e neutralização	47
7.1	Os conceitos dos alunos sobre ácidos, bases e neutralização	47
7.2	Implicações para o ensino	49
7.3	Sugestões para o progresso no ensino	50
8	As dificuldades dos alunos com estequiometria	50
8.1	Questões sobre o aprendizado de estequiometria	51
8.1.1	Uma causa das dificuldades: definindo “mol”	51
8.1.2	As habilidades matemáticas dos alunos	52
8.2	O raciocínio dos alunos sobre a proporção de massa dos reagentes	53
8.3	Aprendendo sobre “moles”	53
8.4	Implicações para o ensino	54
8.5	Sugestões para o progresso no ensino	55
9	Os conceitos dos alunos sobre ligação química	56
9.1	Ligações covalentes	57
9.2	Ligações iônicas	59
9.3	Ligações intermoleculares	62
9.3.1	Ligações de hidrogênio	62
9.3.2	Outras ligações intermoleculares	63
9.4	Implicações para o ensino	65
9.5	Sugestões para o progresso no ensino	66
10	Os conceitos dos alunos sobre termodinâmica	68
10.1	Energia é liberada quando se formam ligações químicas	68
10.2	Energia é conservada em reações químicas	69
10.3	A entropia aumenta até um máximo em reações químicas	70
10.4	Implicações para o ensino	71
10.5	Sugestões para o progresso no ensino	71
11	Os conceitos dos alunos sobre equilíbrios químicos	74
11.1	Questões sobre o aprendizado de equilíbrios químicos	74
11.1.1	Um equilíbrio “dinâmico”	74
11.1.2	Uma reação de equilíbrio envolve duas reações separadas	75
11.1.3	Problemas com o Princípio de Lê Chatelier	76
11.1.4	Calculando e utilizando constantes de equilíbrio	77
11.1.5	Confundindo velocidade e equilíbrio químico	77
11.2	Implicações para o ensino	78
11.3	Sugestões para o progresso no ensino	79
12	Discussão	80
	Referências	84

1. Estados da matéria

1.1 Uma visão espontânea² da matéria

“Há mais de três tipos de coisas...”

Experiências perceptivas diretas conduzem as crianças a uma visão espontânea da matéria, envolvendo mais de três estados, o que Hayes (1979) sugere ser algo como:

“Há diferentes tipos de materiais: ferro, água, madeira, pedra, areia, etc. E esses existem em diferentes tipos de estado físico: sólido, líquido, pó, pastoso, gelatinoso, viscoso, papel, etc. Cada tipo de material tem um estado usual: ferro é sólido, água é líquido, areia é pó, etc, mas algumas vezes esses estados podem ser mudados. Por exemplo, muitos materiais irão derreter se você aquecê-los o suficiente... e outros irão queimar. Qualquer líquido pode congelar se você esfriar ele o suficiente. Qualquer sólido pode virar pó... Não há nenhuma maneira padrão óbvia de transformar um pó em um sólido...

Alguns sólidos decompõem-se, isto é, transformam-se lentamente em alguma outra substância (inútil); ou amadurecem, isto é, transformam-se lentamente em alguma outra substância (útil)...” (p.242-270)

Stavy e Stachel (1985) examinaram as concepções que crianças entre 5 e 12 anos têm sobre “sólido” e “líquido” e encontraram evidências para apoiar a visão de Hayes. As crianças consideram metais e madeira como sólidos típicos. Para elas, substâncias que não são duras nem rígidas não podem ser sólidas. Assim, é difícil classificar sólidos que não se “enquadram” nessa imagem. Stavy e Stachel concluíram que 50 % das crianças entre 12 e 13 anos de idade separaram sólidos que não são rígidos, como, por exemplo, massas homogêneas, esponja, areia e açúcar, de sólidos, como moedas, vidro ou giz. Eles sugerem que:

“O mais fácil é mudar a forma ou o estado do sólido; o mais difícil talvez seja estar incluído no grupo dos sólidos” (p.418).

A água é o “líquido” padrão, com o qual outros líquidos possíveis são comparados. As crianças acham que aquelas substâncias que são pó e que podem escorrer ou fluir como líquidos, têm propriedades de líquidos, mas não produzem uma sensação de umidade. Assim, as classificam independentemente. As crianças encaram a água como um líquido típico. Stavy e Stachel concluíram que, em geral, elas classificam novos líquidos mais facilmente do que os sólidos, talvez devido ao fato de as características físicas dos líquidos variarem menos.

² Foi usada a palavra “espontânea” ao invés de “ingênua” para traduzir a palavra “naive”, porque a palavra “ingênua” não transmite a idéia correta para essa palavra. Entre os especialistas da área a palavra “espontânea” é mais reconhecida.

Até a idade de aproximadamente 14 anos, as crianças parecem depender unicamente de informações perceptivas quando raciocinam sobre a matéria. Idéias abstratas, como idéias sobre partículas, não são prontamente usadas para responder perguntas sobre propriedades da matéria. Assim, elas continuam pensando que as substâncias são contínuas. Millar (1989) sugere que as crianças não precisam usar idéias sobre partículas, visto que a própria teoria delas sobre a matéria funciona perfeitamente bem para elas. Isto tem implicações para influentes mudanças nos conceitos dos alunos.

1.2 Gases

Os gases causam dificuldades especiais para as crianças, visto que aqueles gases normalmente usados em experiências, como o ar, são invisíveis. Stavy (1988) sugere que esta invisibilidade impede as crianças de formar, espontaneamente, um conceito sobre gás. Ela acredita que são necessárias orientações para as crianças adquirirem conhecimento sobre as propriedades do gás, ao passo que seu trabalho inicial sugere que as crianças aprendem intuitivamente sobre sólidos e líquidos. Os gases também estão visivelmente ausentes na caracterização de Hayes.

Séré (1986) investigou os conceitos de crianças de 11 anos de idade sobre gases, antes que elas aprendessem algo sobre isso. Ela concluiu que as crianças associam os gases com o uso e a função dos objetos, como bolas de futebol, pneus e ventosas. Expressões como “o ar quente sobe” (mas não “ar frio desce”) e “o ar está em todo o lugar” eram banais. Além disso, o ar era freqüentemente descrito como estando vivo, por exemplo, “o ar sempre quer se expandir para todo o lugar”. Essas idéias podem surgir através de experiências de correntes de ar e de ventos, bem como através do uso do ar pela casa.

1.3 Idéias espontâneas sobre as propriedades da matéria

“ ‘As coisas’ podem desaparecer, mas o cheiro e o sabor permanecem...”

Os conceitos das crianças sobre o comportamento da matéria foram estudados por Piaget e Inhelder (1974). Eles formularam as idéias espontâneas das crianças sobre a matéria, conforme se segue:

“a. A matéria não tem aspecto permanente. Quando a matéria desaparece aos olhos (por exemplo, quando o açúcar se dissolve em água), ela deixa de existir.

b. A matéria tem uma natureza material, na qual são anexadas várias propriedades randômicas que têm existência independente. A matéria pode “desaparecer”, ao passo que suas propriedades (como a doçura de uma substância, por exemplo) podem continuar a existir completamente independente disso.

c. O peso não é uma propriedade intrínseca da matéria. Pode-se aceitar a existência de matérias sem peso.

d. Transformações físicas simples (como a dissolução) não são compreendidas como reversíveis” (citado em Stavy, 1990 a, p.247).

Evidências da pesquisa apóiam esses itens. Por exemplo, Russel et al (1989 e 1990) pediram que crianças entre 5 e 11 anos de idade explicassem a redução do nível da água de um tanque após um dia ensolarado. Cerca de 45 % das crianças focalizaram a atenção na água que permanecera no tanque, não vendo necessidade de explicar para onde havia ido a água “perdida”. Para essas crianças a matéria, simplesmente, tinha deixado de existir. (item “a”)

Stavy (1990a) estudou as habilidades de crianças entre 9 e 15 anos em conservar o peso e a matéria. Foi mostrado aos seus alunos propanona evaporando em um tubo fechado. Cerca de 30 % das crianças entre 9 e 10 anos da amostra de Stavy pensou que a propanona havia desaparecido (item “b”). Stavy também concluiu que 30 % do grupo que tinha entre 10 e 12 anos de idade (30%) pensaram que o cheiro da propanona permaneceu, apesar da matéria ter desaparecido.

Prieto et al (1989) relatam que 44% do grupo com 14 anos de idade acham que o soluto “desaparece” quando dissolvido, enquanto 23% dizem que a “propanona dissolve” sem explicação. No estudo de Stavy, mais de 40% do grupo desta mesma idade, concluiu que a propanona se tornou sem peso porque havia se tornado invisível (item “c”).

Entre os de 15 anos, Stavy concluiu que 65% encaram a evaporação da propanona como reversível. Há um aumento nesse número, com proporções entre 25 e 60%, entre aqueles com 13 e 14 anos, quando recebem um ensino formal dos conceitos sobre partículas. (item “d”)

1.4 Implicações para o ensino

O impacto da “visão espontânea” no ensino sobre estados da matéria

As visões espontâneas sobre a matéria descritas por Hayes e Piaget e Inhelder apontam para três características chave do raciocínio das crianças sobre a matéria, que são características importantes para o ensino. São elas:

I) As crianças não raciocinam de uma maneira uniforme – elas podem usar um raciocínio perceptivo em algumas ocasiões e um raciocínio lógico em outras;

II) Experiências perceptivas dominam nos casos em que a matéria não é visível, levando ao fato de que

III) muitos alunos de 15 anos ou mais ainda usam um raciocínio perceptivo sobre a matéria, apesar de estarem bem avançados em pensar de maneira lógica em outras áreas, como matemática, por exemplo.

Evidências que apóiam esses pontos incluem o estudo de Stavy (1990 a), que relata que as crianças raciocinam de maneira diferente quando a substância estudada permanece visível. A propanona evapora para formar um gás invisível, no entanto o iodo sólido produz um vapor roxo que pode ser visto. Assim como a experiência da propanona, as crianças explicaram o que elas achavam que ocorria quando o iodo sólido era colocado em um tubo fechado e era aquecido para produzir o vapor roxo. Desta vez, 30 a 50% das crianças na faixa dos 9 aos 15 anos perceberam que o peso do material não mudava, enquanto 70 a 95% pensaram que a matéria em si fora conservada. Isso contrasta com os resultados relatados anteriormente para a demonstração da propanona.

O trabalho de Stavy indica que 30 a 40% dos que tem 15 anos e que foram ensinados sobre teoria sobre partículas ainda usam idéias espontâneas sobre a matéria na solução de problemas sobre partículas. O projeto The Children Learning in Science (CLIS) (Brook, Briggs e Driver, 1984) encontrou resultados similares. A visão espontânea da matéria que as crianças têm, adquirida através de várias experiências na infância, é forte o suficiente, o que torna difícil renunciar e até mesmo impedir um raciocínio consistente sobre a matéria. Assim, apesar das crianças talvez terem as habilidades necessárias para responder corretamente as perguntas sobre matéria, o que exige um pensamento lógico ou abstrato, as idéias espontâneas delas as conduzem a idéias incorretas.

As implicações da persistência de uma visão espontânea sobre a matéria são amplas, como mostrará a discussão sobre o aprendizado da teoria sobre partículas. Sugestões para o progresso no ensino seguem no final da seção 2.

2. Os conceitos dos alunos sobre a natureza da matéria em partículas

Esse tema tem sido assunto de extensa pesquisa². Descobertas dessas pesquisas levaram a uma visão de que as idéias sobre partículas são pouco compreendidas, mesmo com cerca de

² Artigos que falam sobre os conceitos dos alunos sobre a natureza da matéria em partículas incluem: Dow et al (1978), Brook et al (1984), Gabel (1993), Novick e Nussbaum (1978 e 1981), Mitchell e Kellington (1982), Bem-Zvi et al (1986 e 1987), Gabel et al (1987), Holding (1987), Johson (1998), Meheut e Chomat (1990), Sequeria e

25% dos alunos de diferentes idades serem induzidos a usarem somente idéias contínuas da matéria nas suas respostas.

São discutidas concepções espontâneas no que diz respeito aos conceitos das crianças sobre quatro afirmações básicas sobre a natureza da matéria em partícula:

- Toda a matéria é feita de partículas separadas;
- As partículas estão em constante movimento randômico;
- O espaço entre as partículas é vazio;
- Há “ligações” ou forças entre as partículas;

2.1 A matéria é feita de partículas separadas

A visão espontânea das crianças sobre a matéria é baseada no princípio de “ver para crer”. As partículas não podem ser vistas, então elas não precisam existir em um modelo funcional para explicar o comportamento da matéria. Novick e Nussbaum (1981) descrevem que o problema básico da aprendizagem está em se exigir que o aluno:

“Supere as compreensões imediatas que o levam a ter uma visão contínua, estática da estrutura da matéria. O aluno deve acomodar suas anteriores idéias espontâneas do mundo físico, a fim de absorver um novo modelo adotado pelos cientistas. No entanto, internalizar o modelo exige superar dificuldades cognitivas básicas tanto da natureza conceitual quanto da perceptiva.” (p.187).

As evidências indicam que o ensino induz a uma mudança no pensamento das crianças. No estudo de Novick e Nussbaum de 1978, eles usaram entrevistas para investigar o entendimento que crianças entre 13 e 14 anos tinham sobre gases antes de aprenderem sobre eles. Eles concluíram que cerca de 60% usaram constantemente as idéias sobre partículas. Esse número aumenta para mais de 90% entre aqueles adolescentes com mais de 18 anos. O projeto CLIS que trabalha com crianças de 15 anos de idade (Brook, Briggs e Driver, 1994) mostra que mais da metade das crianças utilizadas na amostra usavam freqüentemente as idéias sobre partículas em resposta a uma ampla variedade de perguntas envolvendo os três estados da matéria. Como se deu no estudo de Novick e Nussbaum, estudos recentes produziram números ainda maiores. Johnson (1998a) relata resultados de um estudo longitudinal baseado em entrevistas sobre entendimento da idéia sobre partículas entre crianças de 11 a 14 anos. Ele concluiu que, em um curto período de mais de dois anos, a maioria das trinta e três crianças estudadas passou a adotar um modelo de partículas para a matéria, o qual incluía aspectos cientificamente precisos.

Os alunos que não usam as idéias sobre partículas, talvez usem, ao invés disso, a maior parte das propriedades das substâncias. Por exemplo, o estudo do projeto CLIS (Brook et al, 1984) inclui a seguinte opção como resposta para uma pergunta relacionada à mudança de temperatura de uma pedra de gelo:

“Como a temperatura aumenta para -1°C , o gelo derreterá, fazendo com que a pedra de gelo diminua.” (p.57).

E relacionado à pressão do pneu do carro durante uma viagem:

“Quando um carro entra em movimento, os pneus começam a esquentar e isso causa pressão.”(p.35).

Brook et al chamam essas respostas de respostas “macroscópicas de baixo nível”, que são dadas por crianças que pensam a matéria como algo contínuo. Muitas crianças, que entendem que a matéria é formada por partículas, não abandonam suas idéias espontâneas, e, então, atribuem a maior parte das propriedades às próprias partículas:

“[as partículas podem] mudar suas formas [sólido para gasoso]; explodem, queimam, expandem, mudam o tamanho e a cor ou encolhem” (Happs 1980 p 9-14).

Idéias similares foram encontradas por Griffiths e Preston (1992), cujo estudo em pequena escala mostrou que cerca de 50% dos adolescentes com 18 anos acham que as moléculas de água do vapor são maiores do que as moléculas de água do gelo. Esse tipo de explicação parece estar em um estágio “intermediário” entre a completa apreciação da natureza da matéria em partículas e as idéias espontâneas. Apesar de alguns alunos conseguirem desenvolver uma visão científica, muitas pessoas talvez não saiam desse estágio intermediário.

2.2 As partículas estão em constante movimento randômico

As evidências indicam que o movimento randômico das partículas em líquidos e gases é algo difícil de compreender. Por exemplo, Westbrook e Marek (1991) realizaram um estudo envolvendo 100 alunos de graduação, sendo que nenhum deles atribuiu difusão do corante ao movimento randômico de partículas.

Alunos de 16 anos e acima de 16 anos parecem aceitar que as partículas de gás são uniformemente distribuídas em um recipiente (Novick e Nussbaum, 1981). No entanto, quando perguntados “Por que as partículas não se acumulam no fundo do recipiente?”, somente metade deles achava que as partículas estavam em movimento constante.

2.3 O espaço entre as partículas é “vazio”

Novick e Nussbaum (1978, 1981) pesquisaram essa noção de que o espaço entre as partículas é “vazio” em estudos que envolveram crianças Israelenses entre 13-14 anos e Americanos entre 10-20 anos. Novick e Nussbaum mostraram que a noção de que há espaço vazio entre as partículas causa uma dificuldade considerável para os alunos. Eles concluíram que 25% daqueles que pertenciam ao grupo dos mais jovens sugeriram que, apesar das partículas serem em si entidades separadas, o espaço entre elas era preenchido, por exemplo, com:

“Pó e outras partículas; outros gases como oxigênio e nitrogênio; ar, sujeira, germes; talvez um líquido; vapores desconhecidos...” (Novick e Nussbaum, 1978 p. 276).

Ou, não havia espaço entre as partículas. Por exemplo:

“As partículas estão intimamente acomodadas – não há espaço entre elas” ou “Nenhum lugar é completamente vazio” (p.276)

Cerca de 40% daqueles alunos com mais de 16 anos responderam a pergunta “O que há entre as partículas?”, dizendo que há “vapor ou oxigênio”, enquanto mais de 10 a 15% disseram que “um poluente” estava presente. Estudantes universitários de ciências também usaram este modelo de “espaço preenchido” (Benson et al 1993), dos quais cerca de 33%

“subestimaram seriamente a quantidade relativa de espaço entre as próprias partículas de gás.” (pág. 596)

Alunos de todas as idades acham difícil de imaginar espaço entre as partículas, e intuitivamente “preenchem” esse espaço com alguma coisa. Visto que os alunos dependem do visível - informações perceptivas sobre sólidos e líquidos - para desenvolver a visão espontânea da matéria, não surpreende a dificuldade deles em aceitar um modelo que propõe que não há nada no espaço entre as partículas.

2.4 Há “ligações” ou “forças” entre as partículas

Os alunos parecem usar a noção de forças entre as partículas, ao invés de usar a noção de movimento constante entre as partículas para explicar o comportamento dos gases. Novick e Nussbaum (1978) pediram para crianças entre 13 e 14 anos desenhar uma representação do ar em um frasco parcialmente vazio. Um número significativo delas desenhou o ar em volta dos lados do frasco, ou desenhou uma massa de ar localizada na parte inferior do mesmo. Outros, que disseram que o ar era composto de partículas muito pequenas desenharam as partículas acumuladas ou ocupando somente uma parte do frasco. As explicações dadas para os desenhos incluíam: “Eles são acumulados em um lugar pelas forças de atração...”(Novick e Nussbaum,

1978 p.277). O estudo de 1981 de Novick e Nussbaum revelou que cerca de 20% dos adolescentes com mais de 16 anos acham que “as forças de repulsão entre as partículas” impedem que elas fiquem no fundo do frasco. A idéia de força de repulsão e força de atração sugere partículas estáticas, confirmando que o movimento das partículas em um gás é difícil de compreender. A sugestão de “forças de atração” dá base para o modelo de “acumulação de partículas”, enquanto a noção de forças de repulsão “explica” a distribuição uniforme das partículas. Não há nenhuma evidência que indique se algum aluno muda de uma idéia para outra entre os 14 e os 16 anos de idade. No entanto, ao aceitar a idéia de que as partículas são distribuídas uniformemente, a noção de força de atração torna-se redundante. Assim, um aluno talvez use, ao invés disso, uma nova explicação – forças de repulsão. As idéias não são necessariamente exclusivas.

Brook, Briggs e Driver (1984) concluíram que um número significativo dos que tinham 15 anos usa a idéia de forças de atração entre as partículas de gás para ajudar a explicar a pressão do ar. Alguns alunos sugeriram que a intensidade da força depende da temperatura. Outros adolescentes com essa mesma idade achavam que não havia forças entre partículas em estado sólido (p.74). O relatório não indica se esses alunos também acham que há forças entre as partículas de gás. No entanto, Engel Clough e Driver (1986) e Stavy (1988), entre outros, relatam que os alunos não aplicam as idéias de uma maneira consistente para os problemas. Assim, o mesmo aluno poderia imaginar a presença de forças entre partículas de gás, mas não entre partículas de uma substância em estado sólido.

Com a idéia que os alunos tem sobre forças de atração e de repulsão, talvez seja difícil de aprender idéias cientificamente corretas sobre mudanças de estado e sobre ligação química, sendo que essas duas idéias envolvem interação entre partículas.

2.5 Implicações para o ensino

Em resumo, quatro pontos podem ser levantados:

Primeiro: Provavelmente, somente um pequeno número de alunos com 16 anos usará um desenvolvido modelo de partículas para explicar fenômenos químicos e físicos. O modelo contínuo da matéria é eficaz, mesmo que, apesar de já terem visto os temas abordados, a maioria dos alunos use somente um modelo de partícula primitivo mantendo características dessa visão espontânea. Por exemplo, alguns alunos de 16 anos acham que não há espaço entre as partículas de gás, que este é preenchido, ou ainda que as partículas se expandem quando aquecidas. Outros alunos que entendem que as partículas de gás são distribuídas, uniformemente, explicam isso sugerindo que há forças de repulsão entre as partículas,

implicando que elas são estáticas. Um pequeno número de alunos não usa, de forma alguma, as idéias sobre partículas ensinadas, dando somente respostas macroscópicas de baixo nível para perguntas que envolviam o comportamento das partículas, mantendo suas visões espontâneas da matéria em uma forma mais completa.

Segundo: Novick e Nussbaum concluíram que:

“Os aspectos do modelo de partícula menos assimilados pelos alunos nesse estudo são aqueles que mais estão em discordância com a percepção sensorial da matéria que eles têm.”
(p.280)

As idéias mais problemáticas são aquelas em que falta evidência perceptiva, como a da existência de espaço entre as partículas. Stavy (1990a) e Benson et al (1993) sugerem que as evidências visuais podem ajudar a mudar as idéias dos alunos, visto que, somente dessa maneira fica evidente a inadequação do modelo espontâneo.

Terceiro: As evidências sugerem que alguns alunos aplicam diferentes idéias aos três estados da matéria, sem vê-las como contraditórias. Por exemplo, os alunos talvez raciocinem que há forças de atração entre as partículas de gás, e que isso explica porque as partículas de gás talvez se acumulem. No entanto, eles não usam essa idéia sobre partículas em sólidos. Mais tarde, um aluno talvez mude idéia para explicar a distribuição uniforme de partículas de gás em termos de forças de repulsão. Essas idéias talvez contribuam para dificultar o entendimento dos alunos sobre ligação química.

Quarto: No ensino desse tópico (natureza da matéria em partículas), as novas idéias apresentadas, provavelmente entrarão em conflito com o raciocínio das crianças. Essas idéias, uma vez ensinadas, não serão usadas automaticamente para explicar o “mundo real”, embora as crianças talvez usem, em aulas de ciência, termos e idéias sobre partículas para explicar um fenômeno demonstrado.

2.6 Sugestões para o progresso no ensino

No Reino Unido, ensino formal sobre o modelo de partículas é abordado pela primeira vez no KS3³ com crianças entre 11 a 14 anos de idade. As aulas normalmente envolvem demonstrações, ou são aulas inteiras com experimentos práticos para “ilustrar” o modelo de partículas junto com discussões. A eficácia dessas estratégias no desenvolvimento das idéias sobre partículas parece ser limitada, o que sugere que uma reforma poderia ser benéfica. A

³ O KS3 (Key Stage 3) é um dos níveis de ensino do Sistema Educacional Britânico. Nesse nível encontram-se crianças entre 11 e 14 anos de idade.

minha preocupação é que, em aulas gerais, não se prenda a atenção das crianças como aprendizes ativos, mas se tente impor uma “visão científica” do mundo diretamente na visão espontânea que elas têm. É necessário uma estratégia que possa ajudar as crianças a desenvolver idéias sobre partículas de uma maneira mais segura. Para ajudar no desenvolvimento dessa estratégia, alguns pontos tirados da pesquisa mencionada acima podem ser úteis:

- Use perguntas de interpretação para motivar os alunos a falar sobre suas idéias.
- Use as respostas das crianças a essas perguntas para induzir ao ensino, conduzindo as idéias sobre não-partículas de uma maneira bem explícita.
- Apresente novos materiais/demonstrações ou experimentos usando, explicitamente, modelo de partículas, como, por exemplo, usando modelos, figuras de partículas.
- Em toda a oportunidade, reforce, consistentemente, novas idéias em outros tópicos da ciência.

Os dois primeiros pontos se equivalem em uma estratégia de “conflito cognitivo”, que encoraja as crianças a serem receptivas sobre suas idéias e receptivas a idéias novas quando elas se deparam com situações em que o raciocínio delas não consegue explicar algo. As minhas observações das aulas de ciências sugerem que muitos professores “se desviam” da questão principal, assumindo a idéia de que as crianças irão aprender, simplesmente porque eles têm apresentado materiais “apropriados”. O raciocínio real das crianças permanece imutável, visto que não é apresentado nenhum incentivo para mudar as idéias delas.

Os dois pontos seguintes sugerem a necessidade de reforçar, visualmente, “novas” idéias, encorajando as crianças a pensar em termos de partículas. Além disso, há a idéia do tamanho das partículas – o uso de imagens de átomos pode ajudar as crianças a perceberem que as partículas são muito pequenas, e que temos a tendência de pensar na matéria como algo contínuo, visto que isto é tudo o que nossos olhos podem ver.

O último ponto reflete uma outra tendência observada nas aulas de ciências; a tendência de apresentar tópicos isolados, ao invés de um desenvolvimento encorajador, integrado, completo, de idéias-chave. Por exemplo, um esquema típico de trabalho talvez inclua o tema “Teoria Cinética das Partículas” para várias aulas, que serão seguidas mais tarde (depois de outros tópicos se interporem) por “Reações Químicas”. Este tópico é freqüentemente ensinado sem referência à idéia sobre partícula. Isso permite que as crianças encarem as reações químicas de acordo com uma visão “contínua da matéria”, ao invés de captarem a teoria das partículas, usá-la na prática e reforçar os conceitos ensinados anteriormente. Há uma necessidade de sair dessa prática “isolada” em direção a uma prática de “integração”.

3. Os conceitos dos alunos sobre as mudanças de estado

Veremos nesse item que o pouco entendimento dos quatro aspectos básicos da teoria da partícula influencia o raciocínio dos estudantes sobre mudanças de estado. As idéias dos alunos sobre isso têm sido estudadas extensivamente.

3.1 O comportamento dos gases

Visto que muitos alunos com mais de 18 anos não compreendem que as partículas estão se movimentando, não é de surpreender que eles achem difícil explicar cientificamente o que acontece quando um gás é aquecido ou resfriado.

O que acontece quando um gás é aquecido?

Novick e Nussbaum (1981) relatam que 40% dos alunos de 16 anos pensam que o aumento no movimento das partículas é o principal efeito do aquecimento de um gás. Mais de 40% dos alunos de 16 anos sugerem que “as partículas são forçadas a se distanciarem”, enquanto 20% usaram a noção de forças de repulsão. O estudo do CLIS (Brook et al. 1984) relata níveis de respostas similares para uma pergunta sobre a pressão do ar em um pneu de carro. Cerca de 12% dos alunos de 15 anos de idade usam idéias que sugerem que o aumento das forças entre as partículas causa uma mudança na pressão do pneu do carro durante uma viagem. Seré (1982) estudou os conceitos de crianças entre 11 e 13 anos sobre a pressão do ar. Ela notou que elas usam termos de mecânica como “força” para descrever efeitos visuais. Brook et al também encontraram respostas que usam a idéia como “dilatação” de partículas, ou, simplesmente, a idéia de que as partículas ocupam mais espaço.

O que acontece quando um gás é resfriado ?

A redução do movimento das partículas no resfriamento de um gás parece ser mais difícil de entender do que a noção do aumento do movimento das partículas quando um gás é aquecido. Lembre que cerca de 40% dos alunos com 16 anos pensavam que o aumento no movimento das partículas era o principal efeito que o aquecimento causava nas partículas do gás. Quando a pergunta foi feita ao contrário, menos de 30% dos alunos entre 16 e 18 anos e apenas 20% dos alunos universitários deram respostas corretas (Novick e Nussbaum, 1981). Essa diferença pode ser devido ao fato de que poucos exemplos práticos de resfriamento de gás estão disponíveis para ajudar no entendimento. Aproximadamente 50% dos alunos de qualquer

idade ofereceram respostas descritivas para a pergunta sobre resfriamento de um gás, incluindo idéias sobre partículas serem hábeis para “encolherem”, “condensarem”, “afundarem” ou “assentarem”.

Levado ao extremo, o resfriamento de um gás conduz a liquefação. Novick e Nassbaum concluíram que os alunos talvez representem isso pictoricamente por desenharem partículas de ar se acumulando ao redor dos lados de um recipiente ou no fundo dele. Aproximadamente 70% dos alunos, desde alunos com 13 anos até estudantes de nível universitário, desenharam este tipo de figura. Isso sugere que concepções espontâneas sobre liquefação são amplamente difundidas. Novick e Nassbaum declaram que:

“muitos alunos de ensino médio atribuem a redução do volume de um gás quando resfriado ao aumento das forças de atração e não a redução do movimento das partículas.”(p.192)

3.2 Evaporação

...entre crianças pequenas

Crianças pequenas obtêm experiência de evaporação. Russel et all (1989) relatam que elas notam que houve evaporação, mas focalizam a atenção na água que permanece, dizendo que um pouco de água “desapareceu”. Cerca de 1/5 das crianças entre 7 e 9 anos reconhece que a água se foi. No entanto, elas pensam em algum agente externo, como uma pessoa ou o Sol como sendo responsáveis pelo desaparecimento da água. As crianças também podem pensar que a água penetra na panela quando ferve (Beveridge, 1985), ou “elas examinam o prato” se ele for deixado com água para evaporar. (Cosgrove e Osborne, 1981). Junto com a idéia sobre partículas, Russel e Watt (1990) notam que outras crianças bem pequenas pensam que a água se transforma em névoa, vapor ou spray (28%), enquanto outro grupo descreve a água como que mudando para uma forma imperceptível (17%), como vapor de água ou “gás”, por exemplo.

“Eu acho que a água se dividiu em milhões de minúsculos pedaços e eles voaram” (Russel e Watt, 1990 p.33)

Crianças mais velhas produzem a mesma explicação, mas em proporções diferentes. Por exemplo, cerca de 57% do grupo que tem entre 5 e 9 anos utilizam a idéia de que há um agente externo.

Essas idéias indicam que o raciocínio sobre evaporação está ligado ao entendimento de conservação da matéria. Ao sugerir que um agente externo remove a água, as crianças parecem conservar a quantidade do material, mas oferecem uma explicação falha sobre por que a água desaparece. Eles usam um raciocínio baseado na percepção, aplicando o que, para eles, é uma explicação satisfatória para uma mudança invisível.

...e entre estudantes de ensino fundamental

Stavy (1990b) estudou em detalhes a ligação entre evaporação e conservação da matéria em crianças entre 9 e 15 anos que já haviam aprendido sobre teoria da partícula. Ela examinou as respostas delas a duas perguntas (também relatado em Stavy 1990a). Os resultados sugerem que 50% dos que têm 15 anos de idade não conservam a quantidade da matéria na evaporação. Stavy sugere que a confusão surge por causa do ensino sobre densidade e peso. Os estudantes dizem “gás pesa menos do que líquido”. Então, há menos gás do que líquido. Assim, eles explicam a evaporação em termos de mudança de peso (idéia incorreta), ao invés de mudança de densidade (idéia correta).

Osborne e Cosgrove (1983; também relatado em Cosgrove e Osborne, 1981) fizeram um estudo com alunos da Nova Zelândia entre 8 e 17 anos. Eles observaram uma chaleira com água fervendo, de modo que as bolhas de água pudessem ser vistas enquanto a água fervia. Então, perguntou-se a eles “De que as bolhas são feitas?”. Nas respostas, eles incluíam que as bolhas eram feitas de calor, ar, oxigênio ou hidrogênio e vapor. Essa pergunta foi respondida por cerca de 700 alunos, e foram obtidas as mesmas respostas. Proporcionalmente, essas respostas variavam entre a idade de 12 a 17 anos, conforme segue abaixo:

Calor	30% a 10% das respostas
Ar	30% a 20% das respostas
Oxigênio/hidrogênio	25% a 40% das respostas
Vapor	15% a 30% das respostas

Esses dados mostram que enquanto o número dos que dão a resposta correta – vapor – aumenta entre os alunos de 12 a 17 anos, a maioria dos alunos de 17 anos também pensa que a água pode ser dividida nos elementos que a compõe através do aquecimento; ou que o calor é uma substância com propriedades próprias; ou, ainda, que o ar está na água. Osborne e Cosgrove atribuem esses conceitos dos alunos a influência do ensino: nessa idade os alunos sabem que a fórmula da água é H_2O , e imaginam que as moléculas da água se dividem com o aquecimento.

Johnson (1998b) realizou um estudo longitudinal entre alunos de 11 a 14 anos usando as perguntas de Osborne e Cosgrove para explorar o raciocínio dos alunos sobre as mudanças de estado. Ele considera que incentivar os alunos a entender a ebulição da água como uma mudança de estado é importante no desenvolvimento da idéia deles sobre o “gás” como uma substância. Ele argumenta que o ensino da idéia sobre partículas desempenha um papel chave em ajudar os alunos de 11 a 14 anos a aceitar que as bolhas na água em ebulição são água

mudando para o estado gasoso. Em seu relatório posterior (1998c), ele sugere que o ponto chave é:

“que as crianças precisavam desenvolver um entendimento do estado gasoso que pudesse ver a água de duas formas: por ela mesma e como uma mistura com o ar”

Kruger e Summers (1989) usaram questões semelhantes às usadas por Osborne e Cosgrove no trabalho que realizaram com professores do ensino fundamental. Eles concluíram que esses professores não usavam idéias sobre partículas com frequência, explicando o fenômeno da evaporação em termos macroscópicos. Isso contribui com a evidência apresentada anteriormente, que indica que as pessoas não mudam de bom grado suas idéias espontâneas sobre partículas e sobre matéria, retendo percepções semelhantes as das crianças na fase adulta.

3.3 Condensação

Osborne e Cosgrove (1983) relatam as idéias das crianças sobre condensação. Eles seguravam um pires em cima do vapor emitido pela água em ebulição na chaleira e perguntavam “O que é isto no fundo do pires?” A maioria das crianças entre 10 e 13 anos diziam que o pires tinha ficado “suado” ou simplesmente “molhado”. Outros alunos da mesma idade e mais velhos disseram “O vapor transforma a água novamente”, ou “O oxigênio e o hidrogênio se recombina da água”. Cerca de ¼ dos alunos entre 13 e 17 anos entrevistados forneceram resposta correta.

Osborne e Cosgrove coletaram as quatro principais explicações sobre a origem da condensação de água na superfície externa de uma jarra de vidro vedada que continha gelo: “a água passa através do vidro” (entre 8 e 15 anos); “a frieza passa através do vidro” (entre 12 e 17 anos); “a superfície fria e o ar seco (oxigênio e hidrogênio) reagem para formar água”(entre 12 e 17 anos); e “a água em contato com o ar cola no vidro” (entre 14 e 17 anos). A proporção de estudantes entre 16 e 17 anos de idade que pensam que a frieza ou a água passa pelo vidro é muito pequena, embora cerca de 30% do grupo de alunos com essa idade usem a idéia de que os gases se recombina na superfície para formar água.

Os autores ressaltam que respostas corretas usando idéias sobre partículas foram exceções, e que

“idéias relacionadas com movimento e colisão de partículas pareceram ser mais bem entendidas por crianças mais velhas. No entanto, a base da investigação dessas idéias não produziu explicações científicas em termos de forças intermoleculares ou de perda de energia cinética.” (p.830)

A tenacidade das concepções espontâneas sugere que mesmo estudantes de 16 anos talvez achem difícil aplicar idéias básicas sobre partículas em situações práticas.

3.4 Fusão

Cosgrove e Osborne (1983) relatam as três idéias principais expressas por crianças entre 8 e 17 anos, que observaram gelo fundindo-se em uma colher de chá. A resposta de que o gelo “simplesmente funde-se e se transforma em água” foi muito comum. Crianças entre 12 e 13 anos sugeriram que o gelo está “acima de sua temperatura de fusão”, enquanto aquelas entre 14 e 17 anos pensavam que “o calor faz com que as partículas se afastem ainda mais.” Um pequeno número de crianças entre 14 e 17 anos usava idéias sobre partículas.

Brook et al (1984) pediram que crianças de 15 anos explicassem o que acontece com o gelo quando é removido de um freezer a -10°C e colocado para aquecer em uma temperatura de -1°C . Cerca de metade das respostas usaram a idéia sobre partículas, mas apresentaram concepções espontâneas na aplicação. Exemplos dessas respostas incluem:

“A pedra de gelo esfria e as partículas começam a se separar umas das (outras) para formar gases” (p. 53)

“As partículas começam a se separar umas das outras devido ao aumento na temperatura. Quando elas se afastam umas das outras, as partículas passam de uma forma de cristal para uma forma de solução” (p. 53)

A primeira resposta mostrada acima confunde fusão com evaporação, enquanto a segunda resposta introduz a idéia de dissolução.

Outros entrevistados usaram idéias macroscópicas nas respostas, como, por exemplo, as idéias de expansão e contração de partículas.

“Quando a temperatura aumenta, as partículas absorvem o calor e começam a se expandir.” (p.56)

“Quando uma pedra de gelo é retirada do freezer, a repentina mudança de temperatura reage com as partículas, fazendo com que elas diminuam de tamanho” (p.57)

Outras sugestões incluíam que as partículas do gelo fundiam-se ou morriam. No entanto, a pergunta feita não estava testando, explicitamente, idéias sobre mudanças de estado, visto que as temperaturas usadas nas perguntas eram ambas abaixo de zero grau centígrados. Assim, algumas das idéias expressas pelos alunos talvez tenham sido resultado de uma confusão quanto ao que eles de fato tinham sido perguntados, ou eles interpretaram a questão como se o gelo se fundisse.

3.5 Congelamento

As idéias das crianças sobre congelamento não têm sido amplamente investigadas. Stavy (1990b) concluiu que algumas crianças entre 6 e 14 anos de idade dão-se conta de que a fusão é reversível, mas ela nota que:

“É possível que as crianças nessas idades não tenham uma concepção geral da reversibilidade do processo de fusão, mas julguem cada caso especificamente.”(p.509)

Assim, os alunos talvez pensem que, apesar da água poder ser congelada, e depois de congelada poder voltar novamente a ser água, isso, necessariamente, não se aplicará a outras substâncias. Stavy (1990b) cita como as palavras “fusão” e “congelamento” foram aplicadas para a cera da vela e para água. A reversibilidade do gelo – mudança para o estado de água - foi aceita pela maioria das crianças entrevistadas, mas a noção de fusão e congelamento da cera foi entendida por 50% do grupo de crianças com 10 anos de idade. Esse número aumentou para 100% apenas entre o grupo de 16 anos.

3.6 Implicações para o ensino

A pesquisa aponta para muitas idéias-chaves sobre as quais o ensino poderia tratar. Em primeiro lugar, os alunos não usam constantemente idéias sobre partículas para explicar mudanças, e se essas idéias são expressas, são freqüentemente incorretas. Exemplos disso incluem o raciocínio de que as partículas podem se expandir, contrair ou quebrar e de que são estáticas. Em segundo lugar, os alunos acham difícil de entender a reversibilidade das mudanças de estado, encarando cada processo com um evento separado. Em terceiro lugar, apesar dos alunos talvez estarem aptos para dar explicações cientificamente corretas sobre o comportamento da água, eles não conseguem aplicar o mesmo raciocínio para outras substâncias. Isso sugere que em vez de terem aprendido e entendido mudanças de estado em geral, os alunos aprenderam somente sobre as mudanças de estado da água. O aprendizado deles não tem sido fundamental na realidade, ao invés disso depende de um exemplo.

3.7 Sugestões para progresso no ensino

Inúmeras sugestões podem ser dadas. Primeiro, há uma necessidade de ajudar as crianças a entenderem os princípios das mudanças de estado em geral, ao invés de focalizar a água como um exemplo específico. Isso poderia ser feito por reforçar sistematicamente a aplicação dos princípios em outras substâncias. As temperaturas em que ocorrem as mudanças de estado poderiam ser apresentadas ao longo de uma escala, de forma que as crianças pudessem ver os vários pontos em que as substâncias mudam de estado todos os dias. A

linguagem precisa ser cuidadosamente desenvolvida aqui. Por exemplo, “congelamento” está associado com “frio”, significando o que entendemos como temperaturas frias, ao invés de um termo científico para a mudança do líquido para o sólido. Assim, as crianças talvez achem que “congelamento” apenas pode ocorrer em um freezer, e não a temperaturas acima de 100°C (“quente”), como é o caso da maioria dos metais. Há aqui uma boa oportunidade para trabalhar com outros exemplos que as crianças menores de 16 anos encontram nas aulas de ciências, como por exemplo, a destilação fracional do petróleo bruto e do ar. Ao invés disso, eu encontrei esses temas sendo ensinado em outros contextos, sem referência a princípios básicos.

Segundo, as idéias sobre partículas devem ser inteiramente reforçadas, usando imagens visuais e encorajando discussões do que realmente acontece com as partículas nos pontos de fusão e de ebulição em ambas as direções. Um exemplo de uma estratégia talvez seja fazer para as crianças uma das perguntas de Cosgrove e Osborne, como “O que eles acham que está presente nas bolhas da água quando a água ferve?” Eu tenho tentado essa experiência com adolescentes de 16 e 17 anos. Eu pedi que escrevessem em um pedaço de papel as respostas, sem referências de mais ninguém. Eu coletei os papéis, e, assim, classifiquei as respostas. Mostrei, então, que foi dada mais de uma resposta. A maioria delas era “hidrogênio e oxigênio” ou “hidrogênio” e apenas algumas respostas “vapor”, e apontei que essas respostas poderiam não estar corretas. Voluntários justificaram suas respostas. Após discutir todas as respostas, eu usei modelos moleculares para incentivar os alunos a pensar sobre a explicação cientificamente correta. Então, discutimos porque a resposta “correta” era a melhor. Depois disso, tentei reforçar essas idéias conforme surgiam oportunidades.

Terceiro, precisamos encontrar maneiras melhores de apresentar as mudanças de estado reversíveis para as crianças. A experiência mais satisfatória parece ser a que envolve sólidos como o naftaleno, que retorna exatamente ao mesmo estado após aquecimento, ou seja, sua aparência física é a mesma antes e depois da mudança de estado, em qualquer uma das direções. É difícil de convencer as crianças de que as gotículas de água que se formam no fundo de um pires colocado acima de um bécher em que há água fervendo é o mesmo material que está dentro do bécher. Talvez essa explicação deveria vir após uma experiência envolvendo a fusão e o congelamento de uma substância sólida.

4. Os conceitos dos alunos sobre as diferenças entre elementos, compostos e misturas

As diferenças entre elementos, compostos e misturas formam a base para entender reações químicas. Duas definições de “elemento” ilustram que as idéias sobre partículas estão implícitas em fazer a distinção:

“Uma substância pura que não pode ser dividida em nenhuma outra substância pura”
(Freemantle, 1987 p. 123)

“Um elemento é uma substância que consiste em um único tipo de átomo.” (Atkins, 1989 p.8)

Para entender a expressão de Freemantle “não pode ser dividida”, os alunos devem entender que a matéria compreende minúsculas partículas que se associam. Para entender a definição de Atkins, os alunos devem conhecer o significado de “átomo”. Esse tópico tem recebido pouca atenção dos pesquisadores, embora Barker (1995), Briggs e Holding (1986) e Bem-Zvi et al (1986) tenham estudado o que os alunos pensam sobre essas idéias.

4.1 Fazendo a distinção

Briggs e Holding (1986) exploraram como alunos de 15 anos aplicam as idéias sobre partículas para fazerem a distinção entre elementos, compostos e misturas. Eles usaram pontos coloridos para representar diferentes átomos em: diagramas de uma mistura de dois elementos, um composto e um elemento sozinho. Cerca de 30% dos alunos selecionaram todos os três corretamente. Porém, um número de alunos não conseguiu “...fazer diferença entre as representações de partículas de compostos e elementos” (p.43) e, assim, pensaram na imagem do composto sozinho, que mostrava dois pontos coloridos diferentes ligados como moléculas. Eles representaram um elemento (7%) ou uma mistura (39%). Briggs e Holding sugerem que

“...cerca de metade dos alunos consideraram qualquer diagrama que continha diferentes símbolos para átomos, apesar de suas localizações, como uma representação de uma mistura”. (p.48)

As entrevistas mostraram que os alunos pareciam entender a natureza macroscópica de um elemento, mas eles não usavam idéias sobre partículas, sugerindo que um elemento era, por exemplo:

“...uma única substância...?”

“...uma forma de substância química...”

“Um elemento é único, simplesmente feito de uma substância... bem, se fosse de cobre, seria feito somente de cobre...”(p. 50-51)

Essas respostas indicam a compreensão de que todas as partes são a mesma e que um elemento é “puro”. Outras respostas mostraram uma considerável confusão sobre as partículas presentes em um elemento. Por exemplo:

“Um elemento é um tipo particular de substância química...e todos são moléculas (ahn) átomos (ahn) moléculas da mesma substância...”(p.50)

“(um elemento) é parte de um átomo, algo que forma um átomo...humm eles podem ser ligados por muitos deles, um elemento é apenas uma parte de um átomo.” (p.50)

Bem-Zvi et al (1986) concluíram que quase metade dos alunos de 15 anos atribuía a maior parte das propriedades físicas do cobre a átomos formados apenas com o próprio elemento, fazendo, assim, com que cada átomo seja uma visão microscópica do elemento. Briggs e Holding estabelecem

“toda a relutância dos alunos em usar idéias sobre partículas quando falam de elementos, compostos e misturas talvez surja ou resulte de brechas no raciocínio dos alunos. Se não forem construídas, continuamente, pontes entre os níveis macroscópicos e de partículas, então os alunos não passarão de bom grado de um nível para o outro, a menos que se apresentem fortes dicas” (p.57)

Barker (1995) desenvolveu um estudo longitudinal sobre o entendimento de uma variedade de idéias químicas com 250 alunos entre 16 e 18 anos que estavam cursando o curso de química desenvolvido no Reino Unido para alunos maiores de 16 anos chamado nível Avançado(A). Ela concluiu que quase todos os alunos que iniciavam os cursos de nível Avançado(A) em química conseguiam distinguir corretamente entre os diagramas de Briggs e Holding.

Briggs e Holding (1986) exploraram as distinções que alunos de 15 anos de idade fazem entre elementos, compostos e misturas por pedir a eles que identificassem um elemento em uma lista com quatro substâncias, cada uma descrita através do uso de terminologia química básica. Apenas 21% dos alunos usaram, explicitamente, idéias sobre partículas ao fazerem suas escolhas. Outras respostas incluíam:

“Eu acho que é porque os elementos não podem ser divididos, a não ser por cromatografia...”(p.19)

“...um elemento pode ser dividido em mais duas substâncias...”(p.20)

Esses alunos parecem lembrar uma forma confusa de definição de Atkins. Alguns entrevistados sugeriram que um elemento queima para emitir um gás, ou “...a maioria dos elementos precisa de oxigênio para ficar vivos”(p.21)

No mesmo estudo, foi pedido aos alunos para considerarem se uma substância era um elemento, com base nos resultados especificados dos “testes”. Algumas respostas incluíram características físicas pra uma definição de “elemento”. Por exemplo:

“...nenhum elemento pode ter um ponto de fusão acima de 200°C e dissolver em água para dar uma solução incolor.”(p.31)

Outros alunos confundiram “elemento” com características químicas ou reações químicas. O estudo de Barker (1995) revelou que cerca de 3% dos alunos de 16 anos que começavam os cursos de química do nível A podiam ser submetidos a testes gerais para determinar se uma substância é um “elemento” ou um “composto”. Esse número aumentava para 17% no final do curso. Ela relata que cerca de 43% dos alunos conseguiam definir corretamente “elemento” e “composto” no início do curso de nível A, e que este número permanecia inalterado no fim do curso.

No que diz respeito a isso, Gabel e Samuel (1987) notaram que:

“Mesmo após estudarem química, os alunos não conseguem distinguir entre alguns dos conceitos fundamentais sobre os quais todos os conceitos químicos estão baseados, como os conceitos de sólido, líquido e gasoso, ou elementos, misturas e compostos em termos de modelo de partículas”. (p.697)

4.2 Implicações para o ensino

Os alunos que escolheram estudar química após os 16 anos parecem ter uma pequena dificuldade em fazer distinção entre elementos, compostos e misturas quando deparados com representações diagramáticas de partículas. Isso indica que o inverso também pode ser verdadeiro – que alunos que “não são químicos” talvez achem problemático fazer essa distinção. Assim, esse aspecto fundamental da química permanece um mistério.

Esses dados têm implicações fundamentais no ensino. O entendimento dos alunos sobre as diferenças entre elemento, compostos e misturas em termos de partículas é pobre. Por isso, não surpreende que os alunos achem química “difícil”, visto que eles não entendem um princípio básico que provê a base para estudos mais detalhados.

Eu discutirei essa questão de maneira mais profunda e farei sugestões para o progresso no ensino nesse tópico no final da próxima seção.

5 Os conceitos dos alunos sobre transformações químicas: Introduzindo “Reações Químicas”

Aliado a distinção entre elemento, composto e mistura está o entendimento de transformação química. Para propósitos desta discussão, uma transformação química ocorre

quando átomos (ou íons) em reagentes são rearranjados para formar novas substâncias.

Normalmente, transformações químicas são acompanhadas por alterações na aparência física e/ou na cor, por produção de gás, de luz, de calor, ou por um efeito de esfriamento.

5.1 “Reações químicas”

Os alunos tiveram dificuldade em reconhecer quando ocorre uma reação química. Muitos não distinguiram, consistentemente, entre uma transformação química e uma mudança de estado, que os químicos chamam de uma “mudança física”. As evidências para isso vêm de vários estudos. Por exemplo, Ahtee e Varjola (1998) exploraram o que significava para alunos entre 13 e 20 anos de idade a definição de “reação química” em um manual. Também foi pedido que os estudantes dissessem que tipo de coisas indicaria que uma reação química tinha ocorrido. Ahtee e Varjola (1998) concluíram que cerca de 1/5 dos alunos entre 13 e 14 anos e entre 17 e 18 anos pensavam que dissolução e mudança de estado eram reações químicas. Apenas 14% dos 137 estudantes universitários entrevistados no estudo conseguiam explicar o que acontecia em uma reação química.

Briggs e Holding (1986) investigaram o que os alunos pensam sobre as evidências característica que dão suporte para uma reação química. Eles relataram respostas de alunos com 15 anos de idade a uma pergunta sobre uma “substância química” que perde massa, expande em volume e muda de cor quando aquecida. Perguntou-se aos alunos se eles apoiavam a explicação de que havia ocorrido uma transformação química. Cerca de 18% deram respostas que indicavam que eles estavam de acordo. Por exemplo:

“A substância muda de cor, de massa e de estado. Então, pareceria ser óbvio que ocorreu uma transformação química.”(p.63)

Cerca de 23% deram outras respostas, que incluíam:

“...A massa derreteu e encheu o tubo, mas a densidade diminuiu. A substância derreteu, assim a massa aumentou.”(p.63)

“As cores mudaram. A substância se dissolveu.” (p.64)

Essas explicações usam os termos “derreter” e “dissolver”, o que sugere uma confusão com mudanças de estado.

Schollum (1981a) relata uma confusão similar entre mudança de estado versus transformações químicas. Ele concluiu que cerca de 70% dos alunos com 14 anos de idade, e mais de 50% dos com 16 anos pensavam que diluir um suco de frutas concentrado adicionando água era uma transformação química. Schollum também concluiu que 48% dos entrevistados que tinham 14 anos e 55 % dos com 16 anos pensavam que a dissolução do açúcar era uma

transformação química. Na definição dos termos “transformação física” e “transformação química”, 3 alunos descreveram uma transformação física como:

“Quando alguma coisa muda sua forma daquela que era antes.”

“É quando uma reação não divide os compostos.”

“Mudança de propriedade...Pode ser facilmente revertida para sua forma original.”(p.20)

Os mesmos alunos definiram uma transformação química como:

“...quando se muda a forma molecular por fazer alguma coisa, por exemplo, adicionar ou remover água.”

“É quando os compostos são quebrados para formarem novos compostos.”

“Mudança para uma forma ou estado diferente. Não é facilmente revertida.”(p.20)

Aplicando essas definições, o primeiro aluno classificaria a dissolução como uma transformação química, visto que envolve a adição de água. O segundo diferencia as transformações tendo como base se um composto é quebrado ou não, enquanto o terceiro aluno focaliza a atenção nas mudanças da “forma”. Todos os três pensavam que a dissolução de açúcar em água era uma transformação química.

5.2 Afinal, o que é uma “reação química”?

O que deveria ser considerado uma transformação física ou química? Gensler (1970) desconsiderou a idéia de as dificuldades dos alunos serem artificiais, afirmando que os químicos estavam enganados. Ele não concordou que a tradicional mudança de fase da água deveria ser ensinada como transformações “físicas” padrão “porque a água não muda”, dizendo:

“Por experiência própria, todo mundo sabe que, gelo, de fato, não é água; para manter, de outra maneira, o toque de dubiedade.”(p.154)

Ele continua:

“Uma descrição detalhada do processo...é, com certeza, dada de uma maneira melhor em termos de transformação em ligação “química” intermolecular.”.(p.155)

A dissolução de açúcar ou a dissociação do sal e a recristalização do sólido de uma solução é, normalmente, feito no KS3 (alunos entre 11 e 14 anos). Gensler sugere que isto não pode ser realmente chamado de “transformação física”, visto que soluto recristalizado requer um ato de “fé cega” da parte do aluno para acreditar que o material recristalizado é idêntico ao material do começo. As ligações intermoleculares no soluto vão diferir do original, e o sólido talvez seja hidratado. Gensler diz que:

“...em uma disciplina em que experiência é primazia, se pede ao principiante que ele desconfie e descarte seus próprios resultados experimentais, e acredite na autoridade”. (p.154)

Assim, ele sugere que a confusão dos alunos vem de conflitos de informação perceptivas com os quais eles estão sendo ensinados. Açúcar recristalizado, para um aluno, não é o mesmo material que foi adicionado originalmente. Assim, pela própria definição dos professores, uma transformação química deve ter ocorrido.

Uma redefinição de “transformação química” talvez ajude. Strong (1970) sugere que uma transformação química é definida por estas quatro características:

- “1 - A identidade do produto determinada pela identidade do material inicial
- 2- A mistura dos materiais iniciais é essencial quando mais de um reagente está envolvido
- 3- A descontinuidade entre as propriedades do material inicial e o produto final.
- 4- A não variação das propriedades de um produto quando a temperatura, a pressão e a composição inicial são variáveis”. (p.689)

Esses critérios poderiam estar relacionados com as características perceptivas que podem ajudar os alunos a desenvolver um entendimento das transformações reais que ocorrem na escala microscópica.

Com certeza, Gensler tem um ponto digno de consideração. A sabedoria de distinguir entre esses dois tipos de transformações para alunos jovens, principalmente, com modelos de partículas da matéria pobres, que dependem muito de evidências perceptivas, deve ser questionada. Ahtee e Varjola (1998) notam que:

“A diferença entre transformações químicas e físicas se torna óbvia somente após a introdução do conceito de átomo. (p.314-5)

Eles sugerem que, para ajudar os alunos a formularem um entendimento claro sobre “reações químicas”, uma variedade de fenômenos deveria ser apresentado dentro de uma abordagem que estimule a observação, o questionamento e a argumentação. Os autores também sugerem que a descrição atômica não deveria ser “ensinada tão cedo”(p.315). Mas, ao invés disso, deveria se esperar até que o aluno percebesse uma necessidade de uma explicação geral diferente da dele.

5.3 O que é uma “substância”? : entendendo a terminologia química

Como em todas as ciências, a Química tem um vocabulário distinto, em que cada palavra tem significados específicos para um químico. A maior parte do ensino e aprendizado de química está em lidar com esta linguagem de uma maneira que ajude o aluno no desenvolvimento do seu entendimento de conceitos químicos. Evidências sugerem que as

dificuldades podem surgir porque os professores desconhecem os significados e os problemas que os iniciantes em química têm com esses termos, o que contribui para um aprendizado pobre dos conceitos básicos que os professores ensinam.

Para contribuir com isto, Loeffler (1989) sugere uma estratégia de ensino dos termos “elemento”, “composto” e “mistura”, baseada nas diferenças de aprendizado dos alunos entre os mundos macroscópicos e microscópicos. Ele reconhece que é quimicamente incorreto pensar em partículas comportando-se individualmente como grandes pedaços de uma substância. Por isso, ele evita o uso da palavra “elemento” em favor do termo “substância”, que poderia ser usado para descrever macroscópicas propriedades de qualquer substância química normalmente chamada como um elemento, composto ou mistura. A palavra “espécies” químicas é usada para descrever as partículas presentes. Assim, por exemplo, “água” compreende as espécies “moléculas de água”. As propriedades da substância são ensinadas muito especificamente - como se ensina a maior parte das propriedades - sem se mencionar partículas. Isso ajuda os alunos a aprenderem somente sobre propriedades, sem associar essas propriedades com a apresentação de partículas.

Após incentivar o uso de termos separados, Loeffler sugere que se integre esses termos gradualmente, tornando os nomes das substâncias mais precisos. Por exemplo,

“Na, sódio atômico.. O_2 oxigênio molecular...S, elemento enxofre” (p. 929)

Apesar de esta ser uma boa idéia, como a distinção entre macro-microscópico é vital para a abordagem, parece problemático descrever o enxofre como “elemento” em contraste com o sódio e o oxigênio que também são elementos químicos. A estratégia dá um significado extra para “elemento”, além do significado tradicional da visão dos químicos. Assim, mais tarde, isso pode causar confusão.

Vogelezang (1987) também pensa que a noção de “substância” deveria ser ensinada antes dos alunos aprenderem sobre átomos e moléculas, porque isto está mais relacionado com a própria experiência deles. Como os alunos estão inclinados a pensar em matéria como contínua, o termo “substância” está mais perto da noção que eles têm de “material” do que estão as palavras relacionadas com partículas: “átomo” e “molécula”. Vogelezang reconhece que os alunos ainda necessitam conhecer sobre átomos e moléculas, e recomenda a estratégia de Vos e Verdonk (1985a, b, 1986, 1987a,b) (discutida posteriormente). Apesar de tudo, a proposta dá suporte as visões de Stavy (1990a,b) e de Novick e Nussbaum (1981), que acreditam que imagens visuais ajudam os alunos a aprender a visão científica da matéria aceita, que é apresentada em aulas de ciência.

No entanto, Johnson (1996) aponta que “substância” não aparece sozinha como um conceito, mas está relacionada com outras idéias que “compõe” esse conceito como, por exemplo, material/objeto, pureza, e transformações químicas. Ele concluiu que crianças entre 11 e 14 anos não usavam essas idéias, que ajudam a compor o conceito. Assim, elas não apresentam uma visão de químicos sobre “substância”. Por exemplo, os alunos nesse estudo não classificaram um prego nem palha de aço como “sólidos” porque eles entendiam que sólidos “não tinham furos” nem existiam em “chumaços”. Um químico focaliza a atenção no material, ao invés de na forma, considerando, assim, os dois como “sólidos”. O uso da palavra “puro” também é problemático, porque, no dia-a-dia, essa palavra implica “não misturado com” ou “natural”. As crianças encaram o sal-gema como “puro”, mas o sal extraído como “impuro”, porque ele passa por um processo químico. Razões similares são aplicadas para a água destilada. Essas idéias contradizem a visão dos químicos de que uma substância pura compreende uma única substância, ao invés de mais de uma.

Ahtee e Varjola (1998) também concluíram que alunos de todas as idades acham o termo “substância” problemático. Os alunos trocam o uso da palavra “substância” com palavras como “elemento” ou “átomo”, por exemplo:

“As substâncias transformam outros elétrons entre elas...” (17-18 anos)

Essas descobertas sugerem que, embora o uso do termo “substância” talvez seja bom em princípio, devem-se estabelecer bases claras sobre os significados que os químicos dão para esses termos, antes de eles poderem ser usados em uma estratégia de ensino sobre transformações químicas e físicas.

5.4 Ensinando reações químicas

Esta nova estratégia, discutida acima, para ajudar os alunos a aprenderem idéias básicas foi sugerida por de Vos e Verdonck (1985a,b, 1986, 1987a,b). Intitulada: “*A New Road to Reactions*” a técnica exige que o professor evite a abordagem tradicional, que é baseada no entendimento detalhado da terminologia, e apresente transformações químicas de uma maneira que faça o aluno pensar em explicações para o que ele está vendo. A estratégia merece uma descrição detalhada.

Primeira fase: (1985a) os alunos são incentivados a reconhecer que uma transformação química (ou reação) envolve a produção de uma nova substância. Usando um almofariz e um pistilo, os alunos trituram iodeto de potássio e nitrato de chumbo separadamente antes de misturá-los. Imediatamente, na mistura, os pós produzem um sólido de cor amarela brilhante (iodeto de chumbo) misturado com um sólido de cor branca (nitrato de potássio). O professor

pergunta, fingindo estar irritado: “Quem colocou aquele sólido de cor amarela no almofariz?” Essa pergunta leva a uma resposta indignada: “Eu não sei, simplesmente apareceu.” , “Não veio de nenhum lugar”, “Não foi eu!”. A resposta do professor é: “Bem, não pode simplesmente ter aparecido. Deve ter vindo de algum lugar! De onde veio isso ?” Finalmente, os alunos talvez digam que os pós de cor branca são como pequenos ovos. O pó amarelo estava dentro dos ovos, e que ao misturá-los quebraram-se os ovos, o que fez com que aparecesse o material amarelo. Andersson (1990) sugere que essa idéia surge porque:

“ Parece que a maioria das crianças na idade de 14 anos aderem firmemente a uma idéia não expressa e inconsciente de que cada substância individual é conservada, independente do que aconteça com ela.” (p.4)

O reconhecimento do material amarelo como uma nova substância é o ponto chave. Portanto, eles são lembrados de que se uma substância branca é feita de “pequenos ovos”, o material amarelo teria aparecido durante a trituração, antes da mistura. Intuitivamente, os alunos preferem pensar que as duas substâncias originais existem com o material amarelo. Porém, alguma coisa impossibilita que eles vejam o material amarelo no começo.

Com perguntas persistentes, os alunos admitem que a substância é nova e que “simplesmente apareceu”. A transformação cria conflitos cognitivos, visto que o resultado da experiência e o questionamento desafiam o raciocínio dos alunos. de Vos e Verdonk notam que:

“A função do professor *é dificultar e não facilitar* (o itálico foi adicionado) para que o aluno abandone a sua antiga idéia. A nova visão sobre substâncias deveria ser uma vitória pessoal do aluno e algo para ele se orgulhar...”(p.239)

Segunda fase: (de Vos e Verdonk,1985b) envolve ajudar os alunos a ampliar seu raciocínio para outras reações e começar a desenvolver um modelo de partículas para as transformações que eles observam. Uma placa de Petri contendo uma pequena quantidade de água é usada, inicialmente, para observar a formação de iodeto de chumbo através da migração de íons. Pequenas quantidades de nitrato de chumbo e de iodeto de potássio são colocadas em lados opostos da placa. Após alguns instantes, uma camada de iodeto de chumbo amarelo cristalino aparece no centro da placa. Os alunos talvez expliquem isso usando a idéia de que as “moléculas” das substâncias “atraem” umas as outras. Essa idéia desaparece quando os alunos repetem a experiência, adicionando na placa de Petri um reagente alguns minutos antes do outro, resultando na formação instantânea do precipitado. Outras combinações de substâncias, incluindo açúcar e sal e sal e nitrato de chumbo, ajudam os alunos a perceber que, apesar de as “moléculas” da substância colidirem umas com as outras, os precipitados nem sempre se formam.

Terceira fase: de Vos e Verdonk (1986) propõe experiências que permitam que os alunos se dêem conta de que calor está envolvido em reações químicas. Os alunos sentem o aumento de temperatura ocorrendo quando palha de aço é colocada em uma solução de sulfato de cobre. Os autores apontam que:

“Os alunos não estão procurando por uma explicação geral [para explicar as transformações], e eles não tem razões para generalizar sobre reações químicas com base em uma experiência particular” (p.973)

Isto é importante porque se um professor dá uma explicação geral, os alunos podem pensar que todas as reações produzem calor. Em outra experiência, os alunos medem a mudança de temperatura que ocorre quando pequenas alíquotas de solução de hidróxido de sódio são adicionadas a ácido clorídrico. Pede-se aos alunos que expliquem de onde vem o calor. A resposta envolve a formação de novas ligações químicas.

Quarto passo: introduzir os alunos na idéia de que reações químicas ocorrem porque as partículas nas substâncias são rearranjadas. No começo, no primeiro passo, os alunos pensavam que os sólidos brancos permaneciam iguais, e que a substância amarela já existia. Eles estavam conservando a identidade das substâncias brancas e não se deram conta de que essas substâncias mudaram na reação química. de Vos e Verdonk (1987a) notam que:

“...a maioria dos alunos atribui uma identidade particular para a molécula e supõe que a molécula mantém esta identidade durante toda a reação química...De acordo com essa visão...uma molécula pode passar por muitas mudanças radicais e ainda manter sua identidade e pertencer à espécie original.”(p.693)

Agora, nessa etapa, se lida com a tendência do aluno de conservar a identidade da substância. O ponto chave que os alunos precisam aprender é que, embora um átomo mantenha a sua identidade durante uma reação química, uma molécula não mantém. Os autores reconhecem que é difícil mudar o raciocínio dos alunos.

Finalmente, **quinto passo:** de Vos e Verdonk propõem usar a decomposição da malaquita para introduzir a idéia de que uma “molécula” de malaquita pode ser “quebrada” em duas outras substâncias. Após isso, usando o ciclo do cobre, eles introduzem a idéia de que um elemento químico – cobre - não pode ser decomposto em nenhum outro. Somente então, o termo “átomo” é introduzido.

Esta seqüência de passos descreve uma valiosa maneira de prover imagens visuais para ajudar os alunos a formarem uma visão que é aceita sobre transformações químicas. Os alunos são ajudados, no início, a fazerem a distinção entre transformações químicas e físicas, e mais tarde a perceberem que transformações químicas ocorrem em uma escala microscópica entre átomos.

5.5 Implicações para o ensino

A seqüência apresentada, normalmente usada para ensinar sobre idéias químicas básicas, parece criar confusão para alunos de idades mais avançadas. A prática comum é desenvolver a química de uma maneira hierárquica, construindo a partir da teoria de partícula, passando pela separação de misturas e a distinção entre elementos, compostos e misturas, indo em direção das reações químicas, e, então, às características como ligações químicas, velocidades de reação e assim por diante. O sucesso dessa estratégia é limitado. Evidências de pesquisas apontam para dois problemas.

Primeiro, a abordagem não permite tempo ou espaço para desenvolver e consolidar o aprendizado das crianças sobre uma idéia antes da próxima ser apresentada. A cada etapa são feitas suposições de que as crianças estão aprendendo conforme os professores pretendem. É dado pouco tempo para descobrir as idéias das crianças e direcioná-las. Como resultado, as crianças demonstram um raciocínio muito atrapalhado conforme eles tentam assimilar novas visões científicas sobre o mundo nas suas próprias estruturas. Vemos isso, claramente, no aprendizado das crianças sobre partículas. Algumas crianças talvez mudem para uma aceitação parcial de uma visão científica de atribuir a maior parte de propriedades a átomos microscopicamente pequenos. Um outro exemplo é a dificuldade delineada por Gensler (1970) da distinção entre transformações químicas e físicas. Ele está certo – pedimos aos alunos para confiarem mais no fato de que uma substância recuperada de uma solução é a mesma do material inicial. Um terceiro exemplo é o levantado por Johnson(1996), de que a extração de sal “puro” do sal-gema não é considerado como purificação, mas produção de um produto químico.

Segundo: evidências consideráveis indicam que um tema chave é a linguagem da química. O significado que os químicos dão as palavras “substância”, “elemento” e “puro” diferem significativamente do significado usado no dia-a-dia. Precisa-se dar oportunidade para as crianças aprenderem esses significados técnicos, ao invés de serem ensinadas sobre os termos individuais.

5.6 Sugestões para progresso no ensino

A estratégia de Vos e Verdonk tem muito para ensinar. Eu testei os três primeiros passos dessa estratégia com alunos de 16 anos e concluí que eles foram, precisamente, desafiados e induzidos a pensar das formas que os autores sugerem. A abordagem vira a hierarquia tradicional de cabeça para baixo, por apresentar os alunos a evidências fortes para reações químicas e, então, explicações imediatas. Essas explicações permitem que o professor

apresente o ponto de vista dos químicos, tendo reconhecido primeiro a visão dos alunos. Isto é crucial – há uma situação de “jogo aberto”, em que a visão dos alunos e a visão dos químicos estão em conflito, e o professor tem o papel chave de assegurar que a visão dos químicos garanta a “vitória”. Os alunos então talvez sintam uma “necessidade” de idéias sobre partículas para ajudar a explicar o que eles estão vendo. Também há uma oportunidade para os professores usarem os rótulos químicos “oficiais” para palavras como substâncias e transformações de uma forma que tenha significado, ao invés de usá-las como termos abstratos.

Poderia ser feito progresso por desenvolver essa estratégia de uma maneira mais profunda. Uma seqüência de ensino usando esse esboço básico, mas também construindo para desenvolver o entendimento de palavras-chave, ligando idéias com lições anteriores, talvez através de um mapeamento de conceitos e da adição de exemplos mais profundos para reforçar as idéias, ajudaria a promover um aprendizado mais seguro desses princípios básicos de química, do que o que se tem conseguido usando os sistemas tradicionais. Essas idéias são mais desenvolvidas na seção 6.4

6. Os conceitos dos alunos sobre transformações químicas específicas

Esta seção se divide em duas partes – Reações ou transformações químicas em “sistema fechado”, que não envolve oxigênio atmosférico, e reações em “sistema aberto”.

6.1 Os conceitos dos alunos sobre transformações químicas em sistema fechado

6.1.1 Fósforo e oxigênio em um recipiente lacrado

Essa reação tem formado a base de uma questão usada na maioria dos estudos que exploram as concepções espontâneas dos alunos. A questão inclui um pedaço de fósforo colocado debaixo da água, em um frasco fechado aquecido pelo Sol. Diz-se aos alunos que o fósforo pega fogo, produzindo uma fumaça branca que se dissolve em água. Então, pergunta-se a eles se a massa do frasco e o conteúdo juntos serão os mesmos, maiores, ou menores do que o valor inicial quando todas as transformações tiverem sido completadas. Anderson (1984,1990) e Briggs et al (1986) relatam que cerca de 30% dos adolescentes de 15 anos deram respostas que indicavam conservação, sugerindo que a massa seria imutável porque o “frasco está fechado”. Por exemplo:

“Apesar de uma mudança de forma ou estado, se apresenta o mesmo peso.” (Driver,1985 p.165)

“O frasco está fechado. Nada deixa o frasco nem é adicionado nele.” (Anderson,1984 p. 40-42)

Um número de 16% concluiu que a massa diminuiria, sugerindo que:

“Fumaça não pesa nada/é leve/é mais leve do que o sólido”

“O fósforo/a fumaça se dissolve na água (assim tornando-se mais leve)”

“O fósforo queima ou é destruído.”

“O oxigênio é completamente consumido quando ocorre a combustão” (Anderson, 1984 p.40-42)

Somente 6% concluíram que a massa aumentaria, porque, por exemplo:

“A fumaça é mais pesada do que o fósforo”

“Quando a fumaça se dissolve na água, o peso aumenta.” (Anderson, 1984 p.40-42)

Assim, cerca de 1/3 dos alunos na idade de 15 anos não conserva a massa na reação.

Anderson (1984) sugere que :

“Se uma criança é apta a decidir se uma quantidade de matéria, ou mais exatamente, massa, é conservada ou não, ela deve estar apta para distinguir entre o que é um material e o que não é.” (p.45)

Se os estudantes não focalizam imediatamente o frasco fechado, as respostas deles dependem principalmente do conhecimento deles sobre fumaça. Os alunos que pensam que a fumaça é um “material” talvez dêem uma resposta que indique conservação, ou sugiram que a fumaça é mais pesada que o fósforo. Aqueles que associam “fumaça” com o termo “gás” e não pensam que gases são materiais darão respostas que não indicam conservação. Alternativamente, os alunos também podem pensar que a matéria é completamente consumida quando ocorre uma reação, e, portanto, sugerem que a massa diminui.

Barker (1995) (mencionado em Barker e Millar, 1999) utilizou uma versão levemente adaptada da mesma questão em um estudo longitudinal com alunos do Reino Unido com mais de 16 anos que estavam iniciando cursos de química. Cerca de 75% dos 250 alunos envolvidos deram respostas corretas, enquanto 6% confundiram massa e densidade, raciocinando que a massa diminuiria porque o gás/líquido “pesa menos que o sólido”. 11% concluíram que a massa diminui porque o fósforo dissolve ou é completamente consumido. Na idade de 18 anos, cerca de 81% dos alunos da mesma amostra deram respostas corretas, enquanto apenas cerca de 3% confundiram massa e densidade, e 5% pensaram que a massa diminuiria.

6.1.2 Precipitação

A mistura de duas soluções aquosas talvez produza um precipitado como, por exemplo, em testes para redução de açúcar e de íons de sulfato. de Vos e Verdonk fazem uso de reações

de precipitação nos seus esquemas de ensino, mas pouco trabalho tem sido feito sobre a compreensão dos alunos sobre esse tipo de reação. Barker (1995) e Barker e Millar (1999) investigaram o raciocínio de alunos entre 16-18 anos sobre a conservação de massa em uma reação de precipitação durante um período de mais de dois anos. Eles concluíram que cerca de 44% dos alunos de 16 anos conservaram a massa, concordando que a massa do sólido precipita, e que o líquido tem a mesma massa, como os dois líquidos originais. No final, 70% deram essa resposta. Alguma confusão entre peso e densidade ficou evidente. Cerca de 17% dos alunos com 16 anos achavam que a massa aumentaria porque um sólido “pesa mais que um líquido”. Esse número baixou para cerca de 10% no final do estudo. Uma terceira conclusão foi que cerca de 14% dos alunos iniciantes sugeriram que era produzido um gás, o que faria com que a massa diminuísse, enquanto 7% deram essa resposta no final do curso.

Happs (1980) e Schollum (1982) entrevistaram alunos com idades entre 10-17 anos sobre a formação de precipitado feito na mistura de soluções de nitrato de chumbo e de cloreto de sódio. Alunos de todas as idades tendiam a descrever, ao invés de explicar o que eles achavam que tinha ocorrido. Por exemplo:

“Ficou tudo turvo.” (Happs, 1980 p.10)

Outros usaram linguagem científica, como “solvente”, mas muito poucos usaram “precipitado” para descrever o sólido branco. Alunos mais velhos pensavam que o precipitado fosse uma nova substância, enquanto que alunos mais jovens descreveram a reação como substâncias que se juntavam. No entanto, alguns alunos mais velhos achavam que nenhuma reação havia ocorrido:

“Se aqueles dois (cloreto de sódio e nitrato de chumbo) tivessem reagido, teria ficado claro.”
(Schollum, 1982, p.12)

6.1.3 Dissolução

Piaget e Inhelder (1974) relataram que crianças jovens pensam que o açúcar “desaparece” quando dissolvido em água, e, assim, não “conserva” a massa do material. Eles se contentam com a noção de que a massa da água não mudaria, porque a substância adicionada simplesmente não existe por muito tempo. Um número de pesquisadores incluindo Driver (1985) e Cosgrove e Osborne (1981) tem explorado a prevalência dessa explicação e de outras entre crianças mais velhas. Driver, em seu estudo (mencionado em Briggs et al., 1986) concluiu que cerca de 2/3 das crianças entre 9-14 anos pensavam que a massa de uma solução de açúcar seria menor do que a massa do açúcar e da água. Quando um problema similar foi dado para adolescentes de 15 anos (Andersson, 1984), mais da metade dos alunos envolvidos

pensavam que a massa da solução seria menor. Os alunos deram uma variedade de explicações, entre elas:

“Quando o açúcar se dissolve na água, o açúcar não tem massa, então, é apenas como 1000 g de água.”

“O açúcar vai se decompor e formar um líquido com a água e, então, pesará menos.” (Andersson, citado em Driver et al, 1985, p.154-155)

Esses alunos não conservam a massa, sugerindo que o raciocínio deles sobre esse processo talvez não tenha mudado do que era no início da infância.

Cerca de 30% dos alunos de 15 anos no estudo de Andersson predisseram que a massa não mudaria. Esse número aumentou para cerca de 50% entre os alunos que tinham estudado química. As respostas nessa categoria mostraram claramente que os alunos sabiam que o açúcar ainda estaria presente. Por exemplo:

“Nenhuma das duas substâncias teria ido a algum lugar a não ser no frasco...apesar do açúcar não poder ser visto, ele ainda está presente.” (Andersson, citado em Driver et al, 1985 p.154)

Embora essas respostas não usem idéias sobre partículas, o aluno certamente conserva a massa. Outros alcançaram o mesmo resultado por adotarem uma abordagem algorítmica, adicionando as massas do soluto e do solvente dadas na questão.

No estudo de Cosgrove e Osborne, cerca de $\frac{1}{4}$ dos entrevistados usaram a palavra “derreter” para descrever o que aconteceu com o açúcar. Por exemplo:

“O açúcar está dissolvendo... a água é um meio de derreter os cristais de açúcar.” (Cosgrove e Osborne, 1981, p.18)

Os termos “dissolver” e “derreter” parecem ser usados como sinônimos aqui, embora seu uso diminua conforme os alunos vão ficando mais velhos.

No estudo de Barker (1995) (mencionado em Barker e Millar, 1999) perguntou-se a 250 alunos o que eles achavam: Se a massa de uma solução de sal (cloreto de sódio) seria comparada à massa de soluto e solvente. Cerca de 75% dos alunos de 16 anos pensaram que as massas teriam o mesmo valor. Muitas concepções espontâneas foram encontradas, incluindo 16% que pensaram que um gás seria liberado quando o sal se dissolvesse e 7% que disseram que haveria perda de massa na dissolução. Entre alunos de 18 anos, 62% deram respostas corretas; 15% ainda pensavam que um gás era produzido e cerca de 4% pensavam que se perdia massa. Esses dados indicam que alguns alunos talvez pensem que dissolução é uma reação química, e que a liberação de um gás é uma característica padrão disso. Alternativamente, alunos talvez tenham lido “sódio” ao invés de “cloreto de sódio”, interpretando, assim, de maneira errada a transformação química em questão.

6.1.4 Dissolvendo um comprimido efervescente em água

Tem sido investigado o conceito dos alunos sobre a evolução de um gás ao se deixar cair, em água, pedaços de um comprimido efervescente. Schollum (1981a e 1982) entrevistou alunos entre 11-17 anos sobre as transformações que ocorriam quando se colocava na água pedaços de comprimido de vitamina C. Tipicamente, os alunos diziam que o comprimido “dissolveu” e que um gás, chamado por muitos de “ar”, foi produzido. Alguns alunos mais velhos chamaram o gás de ‘dióxido de carbono’. Os alunos não conseguiam descrever como o gás foi formado. Alguns disseram que o gás já existia, que estava dentro do comprimido, e que foi liberado quando o comprimido foi adicionado na água. Por exemplo:

“Quando eles fabricam o comprimido, eles colocam pequenas bolhas de ar dentro.”

“...deve ter sido algum tipo de bolha de ar dentro do comprimido, e o ar que está dentro força-se para fora e para cima até o alto.” (1981, p.5)

Outros sugeriram que o comprimido tinha reagido com a água:

“O comprimido está reagindo com a água, separando o hidrogênio e o oxigênio. Isto os transforma em sua forma de gás e o gás sai no alto.” (1981, p.5)

Nenhum aluno explicou o gás formado por rearranjo de átomos. Os compostos do comprimido, que reagem para formar o gás, não foram nomeados, o que talvez crie dificuldades extras. Muitos alunos descreveram a transformação como uma reação química, mas as explicações deles sugerem que eles não sabiam realmente o que isso significa. Eles não entendiam que um rearranjo de átomos para produzir uma nova substância está envolvido. Isto dá suporte para as conclusões de Hesse e Anderson (1992), que notaram que:

“...o termo “reação” foi encontrado com frequência nas explicações dos alunos, apesar de eles demonstrarem pouco entendimento de que reações envolvem a interação de átomos e moléculas. A concepção espontânea permaneceu para a maioria dos alunos; de que explicações científicas envolviam um pouco mais do que a habilidade de “falar bonito”.”(p.294)

Os alunos aprendem um vocabulário científico, mas não as idéias que estão por trás das palavras.

Andersson (1992) perguntou a crianças entre 13 e 16 anos sobre a reação que ocorre quando pedaços de um comprimido de aspirina são colocados em água. Ele concluiu que cerca de 25% das crianças de todas as idades raciocinaram que o gás produzido possuía massa. Isto sugere que, embora os alunos não consigam explicar como o gás é formado, alguns, pelo menos estão satisfeitos que os gases são materiais.

Barker (1995) fez uma pergunta similar com adolescentes entre 16-18 anos. Poucos alunos, de qualquer estágio do estudo longitudinal, explicaram que o gás não existia, mas que se formou em uma reação. Cerca de 37% dos alunos no começo e no fim do estudo sugeriram que o gás já estava presente no comprimido e cerca de 10% descreveram o gás como estando em “forma sólida”. Esses dados dão suporte a sugestão acima de que os alunos talvez pensem na evolução do gás como uma característica de reações químicas, e que o significado usado pelos químicos para essa expressão não é bem compreendida.

6.2 Os conceitos dos alunos sobre transformações químicas em sistema aberto

Sistemas abertos normalmente envolvem a parte de oxigênio da atmosfera em “oxidação” ou a “combustão” de uma outra substância. As idéias dos alunos sobre essas reações têm sido investigadas por um grande número de pesquisadores incluindo Andersson (1984, 1986 e 1990), Schollum (1981a e b, 1982) Brook et al (1984), BouJaoude (1991), Ross (1987 e 1993), Watson et al (1997), Barker (1995) e Barker e Millar (1999.)

6.2.1 A origem da ferrugem

Andersson (1984), Driver (1984) e Schollum (1981a) entre outros relataram um padrão consistente de respostas entre crianças com 14-15 anos sobre a origem da ferrugem em um prego. Aqui, é dada uma amostra dessas respostas.

A minoria dos alunos atribui a ferrugem a uma reação química, nem sempre vista como incluindo oxigênio. Por exemplo:

“Ferrugem é a forma da reação química que ocorre depois do prego ter sido tirado da chuva.”

“...causada pela água e uma impureza na reação do prego.” (Schollum, p.13)

Esses alunos parecem ter aprendido sobre “reação”, e usam isto para descrever a produção de ferrugem. Até mesmo quando se sabia que oxigênio estava envolvido, os alunos não necessariamente associavam isto com um aumento em massa. Por exemplo:

“O ferro simplesmente tinha reagido com o oxigênio do ar, que não pesa nada.” (citado em Driver et al, 1985 p. 163)

Nesse caso, o aluno não pensa que os gases têm massa. É mais comum os alunos pensarem que a massa de um prego enferrujado seria mais leve do que o prego original, porque a ferrugem “corrói” o metal. Por exemplo:

“Como o prego é gradualmente destruído pela ferrugem, ele ficará menor...”

“A ferrugem destrói gradualmente” (Andersson, 1984 p.34)

Brook et al (1984) encontraram essa resposta entre 1/3 dos adolescentes de 15 anos. É similar ao raciocínio macroscópico de baixo nível relatado anteriormente em que propriedades semelhantes às propriedades reais são atribuídas à ferrugem. Cerca de 1/3 da massa do prego não mudaria, porque a ferrugem simplesmente era “parte do prego”. Por exemplo:

“[A ferrugem está] lá todo o tempo, debaixo da superfície do prego.” (Schollum, 1981a, p. 13)

Andersson (1990) chama isso de “modificação”; a ferrugem existia antes da transformação, mas se tornou visível quando o prego foi deixado na água. Um tipo diferente de idéia de modificação é relatado por Brook et al e Andersson (1984), que concluíram que 1/3 das crianças de 15 anos pensaram que o prego ficaria mais pesado depois de enferrujado:

“A ferrugem faz o prego ficar mais pesado”

“Água é adicionada quando a ferrugem se forma”

“Oxigênio é adicionado quando a ferrugem se forma”

“Oxigênio e água são adicionados quando a ferrugem se forma.” (Andersson, 1984 p. 34-35)

6.2.2 A reação entre o cobre e o oxigênio

Anderson (1984, 1986) e Hesse e Anderson (1992) estudaram o raciocínio dos alunos sobre a reação entre o cobre e o oxigênio. Anderson pediu para alunos entre 13 e 15 anos explicarem como se forma a cobertura escura em canos quentes de cobre. Cerca de 10% explicaram que “Esta é a maneira como todos os canos de cobre mudam” (1986, p.552), aceitando a transformação como um fato, ou “é assim que acontece”. Outras sugestões incluíam que a água tinha se infiltrado através dos canos e formado a cobertura escura, uma explicação que Anderson descreveu como “deslocamento”; e que o cobre foi mudado pelo calor (“modificação”). Cerca de 20% daqueles que tinham 15 anos reconheceram isto, explicando, por exemplo:

“O cobre e o oxigênio reagiram”

“É oxidação. Ar = oxigênio que reage com o cobre; óxido de cobre é formado e isto é a cobertura escura.” (p.556)

No estudo de caso de Hesse e Anderson (1992), um aluno (a idade não é fornecida) explicou que o cobre e o oxigênio reagiram com “o calor, assim como o catalisador” (p.287).

Assim, apesar de alguns alunos terem visões aceitas e bem desenvolvidas sobre a reação do cobre/oxigênio, a maioria dos que tem 15 anos não tem essa visão.

Barker (1995) perguntou para alunos de 16 anos que estavam começando o nível A de química, de onde vinha a “substância escura” quando o cobre em pó era aquecido no ar, visto que ocorria um aumento da massa. 63% disseram que vinha de uma reação com o oxigênio. Cerca de 12% sugeriram que vinha de uma reação com “gases/ar”, enquanto cerca de 10% sugeriram que a substância escura era fuligem, carbono ou dióxido de carbono. Na idade de 18 anos, 75% desses mesmos alunos deram a resposta correta e cerca de 8% deram as duas principais respostas do tipo espontâneas.

6.2.3 Queimando palha de aço (ou de ferro)

A velocidade da reação entre ferro e oxigênio pode ser aumentada através do aquecimento do ferro na atmosfera. Quando calor externo é aplicado, os químicos dizem que o ferro está sendo “queimado” ou “em combustão” no oxigênio”. As idéias dos alunos sobre essa reação é relatada por Driver et al (1985), Anderson (1986) e Donnelly e Welford (1988).

Os alunos predisseram como a massa da palha de aço(ferro) mudaria, uma vez queimadas em oxigênio. Cerca de 40% dos alunos de 15 anos de idade que tinham estudado Química por dois anos pensavam que a massa do ferro aumentaria devido a uma reação com o oxigênio. Esses alunos deram-se conta de que a massa do oxigênio deveria ser levada em conta. 6% pensaram que a massa aumentaria, mas explicaram que isso ocorreria por causa da fuligem vinda da chama adicionada ao prato onde estava a palha de aço(ferro). Possivelmente, eles foram influenciados pela aparência escura da palha de aço após o aquecimento. Cerca de 40% dos alunos pensaram que a massa do ferro diminuiria. Este grupo incluía 19% daqueles que sugeriram que gás ou fumaça iria se afastar e 10% dos que pensavam que “a queima” deixaria cinzas que seriam mais leves do que o ferro. Esses alunos não reconheceram o papel do oxigênio na reação, e estão usando o termo “queimar” com um sentido que não é o químico, e não como “reação com oxigênio”. A familiaridade dos alunos com cinzas que permanecem após a queima de carvão ou madeira, em que o material final é menos volumoso do que o material inicial, talvez contribua para isso. Cerca de 5% pensavam que a massa do ferro ficaria inalterada. Por exemplo:

“Permaneceria a mesma porque o pó está na palha, mas aquecê-la não faria a mínima diferença” (Driver et al. 1985 p. 160)

Esta resposta conserva a quantidade do material inicial, reconhecendo que o ferro presente no início permaneceria o mesmo no final, apesar deste aluno não enxergar o papel do oxigênio na reação.

Andersson (1986) relata uma outra resposta-“transmutação” entre químicos de 15 anos de idade:

“A palha de aço que queimou se transformou em carbono. Carbono pesa mais.”

“Isto forma carbono após ser queimado em brasa, o que faz a palha de aço ficar mais pesada.”(p.555)

Em um estudo anterior (Barker,1990) concluiu que alguns alunos entre 11 e 12 anos usaram este raciocínio para explicar como se formava “a substância branca” proveniente da queima do magnésio:

“É proveniente da queima do carbono / é a fuligem deixada após a queima.”(p.69)

Esta resposta talvez esteja baseada na experiência dos alunos em queima de combustíveis, que é extremamente conhecida por conter carbono. Nos casos de queima de metais, os alunos que não pensam como químicos usam esta informação, ao invés de sugerirem que uma substância pode se transformar em outra.

As concepções dos alunos sobre a queima de ferro em oxigênio são consistentes com aquelas sobre oxidação. Percebemos uma confusão sobre a conservação da massa e o envolvimento do oxigênio. A seguir, examinaremos o raciocínio dos alunos sobre reações entre combustível e oxigênio.

6.2.4 Queimando uma vela

As idéias dos alunos sobre a queima de velas exploradas por vários pesquisadores (Meheu et al, 1985; BouJaoude, 1991; Schollum, 1981a, b e Watson et al, 1997) revelam padrões de respostas similares. Cerca de 25% dos alunos de 14 anos descrevem a queima da vela como uma mudança de estado. Meheu et al (1985) concluíram que cerca de 25% dos alunos entre 11 e 12 anos descrevem a mudança como “fusão”. BouJaoude (1991) encontrou alunos de 14 anos de idade que pensam que o tamanho da vela diminui porque a cera evapora, ignorando o papel da chama. Como o oxigênio é invisível, o senso dos alunos sugere que somente ocorre mudança de estado. Alguns alunos pensam que a chama da vela é causada pela “queima do pavio” e não pela cera (Bou Jaoude, 1991). Isto talvez ajude a explicar o porquê das respostas “mudanças de estado”, visto que os alunos poderiam raciocinar que o calor que vem da chama (que é a queima do pavio) é o que causa o derretimento da vela.

Os modelos pobres dos alunos sobre as partículas da matéria talvez contribuam para o modelo de “mudança de estado” para a queima de substâncias. Schollum (1981b) relata que um número significativo de alunos de 14 anos para cima não percebe nem a cera nem a chama como estando associadas com partículas. Aqueles que pensam que a chama é composta por partículas, as descrevem como:

“queima em pequenos pedaços...bactéria muito pequenas...oxigênio do ar...partículas de hidrogênio do ar.” (p.12)

Somente dois alunos perceberam a chama como partículas de hidrocarbono. Essas conclusões dão base para a visão contínua da matéria, que foi discutida anteriormente.

Meheut et al (1985) relatam idéias de alunos sobre o papel do oxigênio na queima de uma vela. Apesar da maioria dos alunos entre 11 e 12 anos saberem que era necessário oxigênio para a queima, eles não conseguiam explicar como, exatamente, o oxigênio era usado. Alguns pensaram que o oxigênio fosse “completamente consumido” ou que “desaparecesse” No estudo de BouJaoude (1991), foram entrevistados alunos de 14 anos de idade sobre o envolvimento do oxigênio na queima de uma vela. Um aluno respondeu:

“O oxigênio alimenta o fogo a mantém a vela queimando” (p.695)

Assim, o papel do oxigênio na queima de uma vela não é bem conhecido. Ao invés disso, os alunos talvez pensem que está ocorrendo uma mudança de estado, diminuindo a massa da vela por evaporação da cera. Este pensamento conserva a quantidade do material original. A visão de que o oxigênio é “completamente consumido” também aparece prevalecente, indicando que alguns alunos pensam que o oxigênio é destruído na queima.

Watson et al (1997) descrevem as explicações dadas por 150 alunos entre 14 e 15 anos de idade para questões sobre os aspectos da combustão, incluindo idéias sobre o que acontece quando uma vela fechada em um pote com gás queima por alguns segundos. Na exploração da consistência das explicações diante de uma variedade de reações de combustão, os autores encontraram 3 tipos de estruturas baseadas nas categorias “reação química”, “transmutação” e “modificação” de acordo com o modelo de Andersson (1991). Eles perceberam que os alunos que usam uma estrutura de transmutação, incluindo idéias como, por exemplo, material sendo transformado sob calor, oxigênio “alimentando a chama” e não-conservação da massa em uma combustão, tendem a usar esse raciocínio diante de uma variedade de situações. A tenacidade dessa estrutura talvez se dê em parte por causa das limitações das experiências dos alunos, visto que “funciona” bem para combustíveis baseados em hidrogênio ou carbono, que são normalmente usados em cursos para alunos com menos de 16 anos de idade. Um segundo

grupo, que usa idéias de modificação em que o oxigênio, por exemplo, não está envolvido na mudanças, ou em que a chama é a fonte do calor para a reação, tende a adaptar o raciocínio deles de acordo com as características da substância que está sendo queimada. Um terceiro grupo usa idéias de transmutação e reações químicas. Watson et al sugerem que os alunos cujas respostas são inconsistentes talvez estejam mudando de uma “teoria” de explicação de combustão para outra teoria. Eles apontam muitos aspectos da combustão que estão ausentes das respostas dos alunos, incluindo a formação de produtos imperceptíveis, como os gases, o peso dos gases e a existência de átomos e moléculas. O sucesso em fazer a transição para uma estrutura de “reação química” talvez dependa da amplitude do entendimento do aluno sobre esses aspectos imperceptíveis.

6.2.5 Queimando butano

BouJaoude (1991) e Schollum pediram que os alunos explicassem o que eles achavam que acontecia quando o gás que queimava ficava iluminado. Schollum (1981b) relata que os alunos concordaram de bom grado que ocorreu “combustão”. Os alunos, visivelmente, não usaram o modelo de mudança de estado, talvez porque o gás não pode fundir. Alunos entre 1 e 15 anos freqüentemente sugeriam que o gás era destruído. Por exemplo:

“O gás está se consumindo, não...as chamas estão consumindo o gás... A chama consome o gás, e, então, ele se transforma em pequenos pedaços.” (1981b. p.7)

Um dos alunos do estudo de BouJaoude usou um raciocínio similar para explicar que o oxigênio era “queimado completamente”.

Schollum relata que muitos alunos com mais de 17 anos acham que calor é produzido. Por exemplo:

“O gás se transforma em calor, ou em ondas de calor.” (1981b p.7)

Alguns estudantes mais velhos descreveram os produtos como dióxido de carbono e hidrogênio, sugerindo que o papel do oxigênio na produção de dióxido de carbono e de água não era bem conhecido. Visto que os alunos usam essa reação todos os dias em atividades como cozinhar e aquecer, a resposta de que o “gás se transforma em calor” pode ser esperada. No entanto, essas respostas indicam que uma alta proporção de alunos entre 14 e 15 anos pode pensar que gás ou oxigênio é destruído quando ocorre combustão.

6.2.6 Queimando gasolina

Andersson (1984) relata as idéias de alunos de 15 anos de idade sobre queima de gasolina em um motor de carro. Foi pedido para os alunos preverem a massa de gás expelido, formado quando 50 Kg de gasolina foi colocado em um carro que rodou até que o tanque ficasse vazio. As respostas deles podem ser comparadas com as respostas dadas para a conservação da massa em sistemas fechados, relatadas na seção 6.1.

Andersson concluiu que apenas 3% dos alunos com 15 anos de idade pensavam que a massa do combustível aumentaria. Embora alguns tenham dado a resposta correta, de que a gasolina tinha reagido com o oxigênio, outros alunos pensavam que a massa aumentaria porque:

“A gasolina está misturada com o ar, e, então fica mais pesada.” (p.38)

Esse aluno reconheceu que o ar estava envolvido, mas não parece reconhecer que uma reação química havia ocorrido. Porém, os termos “misturada” e “reagiu” parecem, para esses alunos, ser sinônimos. Assim, esse pode ser o meio de eles dizerem que uma reação havia ocorrido.

Mais de 50 % dos entrevistados por Andersson pensavam que a massa da gasolina não mudaria. Muitos deles usaram o modelo de mudança de estado. Por exemplo:

“Mesmo que a gasolina não apareça na forma líquida, ela pode pesar tanto quanto.” (p.38)

Indiretamente, isso mostra que a gasolina se transforma em gás, refletindo as respostas descritas acima sobre o “derretimento” da cera da vela. Esses alunos não percebem que o oxigênio está envolvido, mas conservam a quantidade de gasolina.

Cerca de 27 % dos entrevistados pensavam que a massa do gás expelido seria menor do que a massa da gasolina por pelo menos duas razões. Primeiro, porque gases “não pesam tanto quanto líquidos”. Assim, independente do que aconteceu com a gasolina, aqueles gases que são emitidos significam que a massa deve ser menor. Por exemplo:

“Gás é mais leve do que gasolina (água), então se você tem apenas 50 Kg de gasolina e ela é transformada em gás, ela deve ser mais leve...” (p. 37)

Essas respostas confundem massa e densidade. Eles talvez conservem a quantidade de matéria, mas pensam que a medida de massa mudou.

Uma segunda explicação para a diminuição de massa é que a gasolina se transformou (“é transmutada”) em energia. Por exemplo:

“É menor do que 50 Kg porque parte da gasolina se transformou em calor e energia cinética.” (Andersson, 1986 p. 555)

Respostas similares foram dadas nas explicações sobre a queima do butano. Essas idéias sugerem que, apesar dos alunos estarem conscientes de que a combustão gera calor, eles não sabem como o calor é produzido.

Barker (1995) e Barker e Millar (1999) relatam 250 respostas de alunos entre 16 e 18 anos para uma versão levemente modificada das perguntas de Andersson sobre “gasolina”. Eles concluíram que somente cerca de 14 % dos alunos de 16 anos de idade que estavam no curso de Química para iniciante – alunos com 16 anos ou mais - deram-se conta de que a massa de gás aumentou com relação à gasolina. Entre os alunos de 18 anos esse percentual aumentou para 40 %. A resposta incorreta mais freqüente era “o que se esconde se revela”, dada por 44 % dos alunos com 16 anos e por 30 % dos alunos com 18 anos. Uma pequena proporção dos alunos de ambas as faixas etárias pensavam que a gasolina convertia-se em luz, calor ou energia; que o gás era mais leve do que o material original, causando a diminuição da massa; e que a gasolina fora consumida e queimada.

As perguntas sobre a gasolina não mencionam o envolvimento de oxigênio, deixando que os alunos percebam isso. Assim, visto que muitos talvez não saibam o que ocorre em um motor de carro, as perguntas induzem a respostas como “o que se esconde se revela” e “gases são mais leves do que líquidos”, visto que essas são as únicas bases sobre as quais as respostas podem ser dadas, a partir das informações fornecidas. Apesar disso, a variedade de respostas foi comparável com aquelas dadas para as perguntas sobre combustível (descritas acima), e há uma certa evidência que sugere que mesmo quando o combustível era queimado na presença dos alunos, muitos ainda não se davam conta de que oxigênio estava envolvido. Embora as perguntas sobre gasolina pareçam ser problemáticas, essa é uma maneira válida de investigar o que os alunos pensam sobre uma transformação que ocorre todos os dias.

6.3 Implicações para o ensino

Implicações significativas para o ensino podem ser tiradas desses dados. A evidência sugere que as crianças podem pensar em reações químicas, usando qualquer um dos muitos modelos defeituosos. Eles podem aplicar modelo de “mudança de estado” para uma reação que envolva oxigênio atmosférico, e, assim, perder o ponto em questão de que uma nova substância(s) está sendo formada. Os alunos podem transmutar substâncias químicas de acordo com a vontade deles, de maneira que o magnésio pode se transformar em carbono, ou gasolina

em energia. Uma terceira possibilidade é a de que os alunos talvez usem um modelo de “modificação”, explicando que o gás produzido na dissolução de um comprimido efervescente em água já estava presente em uma forma diferente, ou que a ferrugem produzida em um prego vem do interior dele.

Há, talvez, duas razões principais para a aparente validade desses modelos. A primeira é que gases estão envolvidos, e conforme discussões anteriores indicaram, esse é um tema problemático para os alunos. Alguns alunos acham difícil de aceitar nos gases como “substâncias”, e não pensam que eles têm massa, ou confundem massa e densidade. Além disso, a maioria dos gases é invisível. Assim, apresentar uma reação que envolve oxigênio é difícil de entender porque o oxigênio é removido do ar sem ninguém estar apto para ver isto acontecer. Conforme visto acima na discussão sobre o desenvolvimento de idéias sobre partículas, os alunos dependem consideravelmente dos seus sentidos e, assim, não conseguem justificar a inclusão de uma substância invisível. A segunda razão é retirada de uma discussão anterior. Modelos sobre partículas da matéria que são pobres contribuem para a dificuldade dos alunos. Sem realmente entender o que acontece no nível molecular, os alunos criam, naturalmente, as suas próprias teorias. No entanto, essa não é a intenção para justificar o atual sistema “ascendente de partículas” para o ensino de Química. Ao contrário, a intenção é mostrar que para desenvolver o entendimento, são necessárias mudanças na estratégia de ensino.

6.4 Sugestões para o progresso no ensino

Em uma seção anterior (5.6) eu sugeri que a estratégia de Vos e Verdonk (1985) para o desenvolvimento do entendimento de reações químicas deveria ser desenvolvida mais profundamente. A discussão nessa seção sugere maneiras de fazer isso.

Primeiro: perguntas de diagnóstico, tais como aquelas usadas em estudo de pesquisa, poderiam ser usadas como maneiras consistentes para investigar o que as crianças pensam antes de aprenderem sobre algum assunto. As respostas devem informar algo aos professores sobre o conteúdo das aulas – não há nenhum ponto que se comprometa com esse tipo de atividade se o resto da lição não muda. Os professores devem discutir modelos para reações químicas abertamente, desenvolvendo uma atmosfera em que as crianças possam se sentir confortáveis ao falar sobre idéias “erradas” enquanto trabalham por um ponto de vista químico que seja aceito.

Para isso, muitas características de um curso de química são essenciais. Primeiro, a necessidade por uma consistência na abordagem. Saber que muitas crianças têm um entendimento pobre sobre as idéias sobre partículas e, assim, não podem visualizar partículas

reagindo, sugere que nós deveríamos desenvolver estratégias que reforcem isto, usando modelos e outras imagens visuais. Segundo, a minha experiência em ensinar e observar aulas sugere que muitas crianças experienciam uma variedade muito limitada de reações químicas, selecionadas, talvez, para minimizar custos, ensinar um ponto específico, ou para usar em alguma pesquisa. A seqüência que eles experienciam passa tão rápido que é impossível para eles consolidarem alguma idéia. Assim, sem surpreender, eles montam modelos que não são químicos para explicar as transformações. Há uma necessidade para aumentar a variedade de reações que as crianças experienciam, por, por exemplo, permitir que eles vejam muitos sistemas oxigênio-combustível, por encorajar discussões sobre os modelos que eles têm, considerando o primeiro, mas mudando para uma visão quimicamente mais correta. Isto, com as estratégias sugeridas acima, poderia ajudar a dependência tanto no modelo de “mudança de estado” como em outros modelos, desenvolvendo um entendimento sobre reações mais confiável e consistente.

7 Ácidos, bases e neutralização

7.1 Os conceitos dos alunos sobre ácidos, bases e neutralização

Pesquisadores incluindo Hand e Treagust (1988), Nakhleh (1992), Ross e Munby (1991) e Cros et al (1986, 1988) têm estudado os conceitos dos alunos sobre a natureza dos ácidos, das bases e da neutralização. Os estudos revelam uma certa consistência com as discussões anteriores sobre os modelos que os alunos têm para as reações químicas.

Hand e Treagust (1988) identificaram cinco conceitos chave sobre ácidos e bases entre sessenta alunos com 16 anos de idade. São eles:

- “(1) Um ácido é algo que pode corroer um material, ou que pode queimar você;
- (2) Teste com ácidos só podem ser feitos por tentar corroer um material;
- (3) A neutralização é um rompimento de um ácido ou de algo que está se transformando a partir de um ácido;
- (4) A diferença entre um ácido forte e um fraco é que o ácido forte consome o material mais rápido do que o ácido fraco; e
- (5) A base é algo que compõe um ácido.” (p.55)

Nenhuma idéia sobre partícula é usada aqui. Os alunos dão declarações descritivas, enfatizando um modelo contínuo, modelo não particulado para ácidos e bases, sendo que alguns alunos incluem idéias ativas, antropomórficas como, por exemplo, “consumir”.

Conforme concluiu Nakhleh (1992), essa visão de modelo não particulado persiste para uma minoria dos alunos. Em seu estudo, quando perguntados como um ácido ou uma base

“apareceria em uma poderosa lente de aumento” (p.192), 20% dos químicos de 17 anos de idade criou imagens consistentes com um modelo de não-partículas de um ácido. Isso implica que, apesar dos alunos saberem medir o pH e saberem das qualidades corrosivas dos ácidos e bases, alguns acham difícil de associar propriedades com as partículas presentes.

No estudo longitudinal de Baker (1995), os alunos foram submetidos a uma pergunta, em duas fases, que envolvia ácido clorídrico. Na primeira fase, pediu-se aos alunos que desenhassem um diagrama mostrando como o ácido clorídrico se forma a partir do gás de cloreto de hidrogênio e água. Cerca da metade dos alunos deram respostas baseadas na idéia de partículas, sendo que 12 % dos alunos com 16 anos desenharam hidrogênio ou íons hidroxônio e 40% moléculas de cloreto de hidrogênio. No final do estudo, quase 80% dos alunos usaram idéias sobre partículas. Esses 80% estão divididos em 37% que desenharam íons de hidrogênio/hidroxônio e 40% que desenharam moléculas de cloreto de hidrogênio. Isso dá suporte para as entrevistas realizadas por Ross e Munby (1991) com alunos de 17 anos, que mostraram que a noção de “um ácido conter íons de hidrogênio” era razoavelmente bem conhecida.

Mesmo que os alunos “saibam” que os ácidos “contêm íons de hidrogênio”, o comportamento químico dos ácidos parece ser difícil de explicar. Na segunda fase da pergunta, Barker pediu que os mesmos alunos explicassem como o gás hidrogênio se forma quando um pedaço de magnésio é adicionado ao ácido. Cerca de 6% dos alunos no começo do estudo, e cerca de 17% no final responderam “íons de hidrogênio/hidroxônio na primeira fase e, então, usaram o termo “reação de deslocamento” na segunda fase, sugerindo que eles entenderam um significado quimicamente correto para isso. “Reação de deslocamento” foi uma expressão que também foi usada por alunos que deram respostas incorretas na primeira fase da pergunta. Por exemplo, inicialmente, cerca de 8% dos alunos desenharam moléculas de cloreto de hidrogênio e usou essa expressão, um quadro que aumentou para 12 % no final do estudo. Cerca de 12% dos alunos de 18 anos mostraram os íons corretos, mas acharam que o cloro fora substituído. Os alunos pareciam ver a reação ácido/metal como um meio para o hidrogênio “trocar de parceiros” com o magnésio, percebendo uma reação entre o magnésio e as partes do “cloro”/cloreto do cloreto de hidrogênio ao invés de entre os átomos de magnésio e os íons de hidrogênio/hidroxônio. Essas conclusões têm implicações no ensino sobre potenciais de eletrodos, bem como em um trabalho mais detalhado sobre equilíbrio de ácidos e bases.

Algumas evidências suportam a idéia de que as definições “ácido” e “base”, incluindo suas mudanças também são idéias difíceis para os alunos. Hand (1989) acompanhou 24 dos alunos no estudo de Hand e Treagust (1988). Nessa fase posterior, alguns alunos haviam aprendido idéias muito mais sofisticadas em um curso de química apurado, enquanto

outros haviam estudado em cursos de biologia ou em cursos de ciência um pouco mais amplos. Um teste baseado nas cinco concepções espontâneas originais foi aplicado nos alunos. Os resultados indicaram que somente os alunos que estudavam química conseguiam responder corretamente perguntas básicas, enquanto aqueles alunos que estudavam biologia se saíram melhor no total. O autor concluiu que os biólogos se saíram melhor porque “eles não estavam tendo nenhum tipo de interferência de novas definições” (p.142) Carr (1984) concorda com essa idéia dizendo que as dificuldades dos alunos com ácidos e bases são:

“mais utilmente percebidas em termos de confusão sobre os modelos usados para ensinar o conceito do que como um conflito entre pré-concepções e a visão científica.” (p.97)

Em cursos avançados de química, os ácidos e as bases são redefinidos sobre o olhar da teoria de Brønsted-Lowry como “doadores” e “acceptores”, abandonando as definições de Arrhenius de que um ácido é uma “substância que cede íons de hidrogênio” e de que uma base produz íons hidróxidos em solução. Hand sugere que a apresentação dessa nova teoria confunde os alunos. Hawkes (1992) suporta essa afirmação, dizendo:

“É intrínseco da natureza humana aceitar as primeiras coisas que nos dizem, sendo difícil renunciar ou mudar essas idéias.” (p.543)

Alunos que estudam Química após os 16 anos talvez continuem a usar conceitos aprendidos anteriormente e talvez não vejam razão para mudar esses conceitos.

Cros et al (1986, 1988) pesquisaram conceitos de estudantes de ciências de universidades francesas sobre ácidos e bases, chegando à conclusão de que o conceito de bases era muito menos desenvolvido do que o conceito de ácidos. Muitos alunos usaram a definição de bases de Arrhenius, sendo OH^- o dador. Os alunos não conseguiram nomear as bases tão facilmente quanto os ácidos, dando como respostas somente: amônia e sódio ou hidróxido de potássio. Nesses aspectos, os alunos do segundo ano não mostram nenhum progresso referente ao primeiro ano.

7.2 Implicações para o ensino

Reações ácido/base são uma característica na maioria dos cursos de Química para alunos com menos de 16 anos de idade. No entanto, os professores devem estar conscientes das dificuldades dos alunos com estas reações. Os problemas dos alunos talvez surjam porque os ácidos e os álcalis parecem com água. Para reagi-los é necessário precisão e ter algum indício

de que a neutralização está completa, sendo necessário um indicador. Além disso, substâncias químicas extras adicionam um nível extra de “incerteza”. Uma experiência comum neste nível é investigar a natureza ácido/base em substâncias do dia-a-dia, usando um indicador universal. Assim, os alunos descobrirão que pasta dental, fermento de pão, sabão, alvejante, vinagre, molho de tomate e outros itens domésticos têm uma propriedade química específica, a qual nós “rotulamos” ácidos ou base.

As evidências da pesquisa apontam que os estudantes desenvolvem muito melhor as idéias sobre ácidos do que sobre bases. Os conceitos errôneos de Hand e Treagust estão quase todos relacionados com ácidos especificamente. Experiências anedóticas baseadas na minha própria experiência suporta essa idéia; os alunos pensam o álcali/base como uma substância que inibe as qualidades de combustão de um ácido, ao invés de terem qualidades corrosivas em si. Os professores precisam desenvolver uma forte conscientização das propriedades das bases.

O comportamento dos ácidos também sugere implicações para o ensino. Os cursos para alunos com menos de 16 anos também abordam reações de deslocamento e reações metal/ácido. As evidências apresentadas aqui sugerem que os alunos aplicam um modelo para essas reações, baseados na idéia de “troca de parceiros” dos íons de hidrogênio, e, assim, cometem erros ao predizer os produtos resultantes dessa troca.

7.3 Sugestões para o progresso no ensino

A estratégia de Vos e Verdonk inclui introduzir os alunos em uma reação ácido/base com o objetivo de mostrar que isto gera energia térmica. Isto poderia ser estendido para ajudar os alunos a perceberem que essas duas substâncias têm propriedades químicas distintas.

Novamente, uma abordagem consistente deve ser usada para ajudar os alunos a perceberem os produtos comuns. Além disso, eles devem ser introduzidos nas propriedades dos ácidos e das bases explicitamente. Assim, eles serão ajudados a compreender a idéia de que os ácidos são “ruins” e as bases são “boas”.

8. As dificuldades dos alunos com estequiometria

Os moles ligam as substâncias representadas em uma equação química à quantidade necessária na prática. Moles é uma idéia abstrata – nós não podemos “ver” o número de Avogrado das partículas. Assim, o melhor que podemos fazer é apresentar uma idéia de quão grande isto é. Usar o mol significativamente requer habilidades matemáticas, o que apresenta um desafio adicional.

8.1 Questões sobre o aprendizado de estequiometria

8.1.1 Uma causa das dificuldades: definindo “mol”

As dificuldades dos alunos com “o conceito de mol” são conhecidas por um longo período (Lazonby et al 1982). Sabendo que as idéias sobre partículas que os alunos possuem são pobres ou inconsistente entre químicos adolescentes, as dificuldades não surpreendem. Dierks (1981) nota que o mol tem sido adotado como uma unidade em Química somente em anos recentes. Ele diz que a discussão do “problema do mol” começou em 1953 (p. 146) e que desde então os químicos gastaram anos tentando chegar a uma definição em comum. A palavra “mol” adquiriu 3 significados: uma unidade individual de massa; uma porção de substância; e um número (p. 150). Os professores de Química frequentemente adotam o ponto-de-vista simplista de que o mol é uma “unidade contável”. Nelso (1991) não concorda com essa abordagem com base no fato de que o mol não é estritamente definido como um número, mas ao invés disso como:

“...a quantidade de substância que corresponde ao número de átomos em 0.012 kg de carbono-12.”(p.103)

Dierks sugere que os problemas aparecem quando o conceito de moles é introduzido para alunos que não estão preparados para se tornarem químicos profissionais. Ele faz alusão a um estudo anterior sobre as dificuldades dos alunos sobre a conexão vital entre fórmulas/equações químicas e expressões matemáticas representando quantidades da substância. Ele declara:

“Normalmente se argumenta... que as crianças precisam de uma concepção clara do que se quer dizer por quantidade da substância, para que eles sejam bem-sucedidos em trabalhar com esse conceito. Aparentemente, esse conceito só pode ser desenvolvido quando a quantidade da substância é interpretada como uma quantidade numérica.” (p.152)

Adotando o argumento de Ausubel de que “aprendizado significativo ocorre quando uma nova informação é ligada com um conceito já existente” (p.153), Dierks defende a idéia de começar a ensinar o mol como um “número”. Isso contrasta diretamente com Nelson (1991) que sugere fortemente que o mol deveria ser ensinado como uma “quantidade”, sugerindo o uso do termo “quantidade química” ao invés de “quantidade da substância”. Essa diferença talvez seja o centro dos problemas associados com o mol – no ensino desse conceito, talvez usemos “quantidade de substância” e “número de partículas” como sinônimos, contribuindo

inconscientemente para as dificuldades dos alunos por nunca explicar realmente o que queremos dizer com cada uma das expressões.

O trabalho mais recente de BouJaoude e Barakat (2000) faz 3 sugestões sobre o ensino de mol. Eles desenvolveram um teste estequiométrico e realizaram entrevistas não estruturadas com 40 alunos entre 16 e 17 anos que revelaram ter um entendimento falho sobre quantidades molares, reagentes limitantes, conservação da matéria, volume molar dos gases na CTP e coeficientes em uma equação química. Os autores sugerem que os professores deveriam ajudar os alunos a desenvolver uma relação clara entre essas idéias antes dos problemas numéricos serem apresentados. Eles apontam que os professores também deveriam analisar a abordagem dos alunos para a solução dos problemas, sugerindo que por fazer isso os alunos serão prevenidos de continuar usando estratégias incorretas. Uma terceira sugestão aponta para o uso de problemas que estimulem o raciocínio, ao invés da aplicação de um logaritmo. Nesse estudo, esses autores acharam que isso ajudou a desenvolver as habilidades dos alunos para a solução de problemas.

8.1.2 As habilidades matemáticas dos alunos

Conforme BouJaoude e Barakat mostraram acima, a capacidade matemática dos alunos também pode contribuir para as dificuldades que eles têm. Um aluno que não consegue lidar com número de bom grado, provavelmente não será bem-sucedido quando aprender sobre moles. Shayer (1970, citado em Rowel e Dawson, 1980) explica a dificuldade dos alunos em termos da falta de habilidades cognitivas “necessárias para lidar com o conceito” (p.693). Shayer acredita que os alunos que não alcançaram o estágio operacional formal de pensamento de Piaget, não conseguem aprender sobre moles, porque habilidades cognitivas, tais como raciocínio de proporção bem como proporcional não estão desenvolvidos. Isto está amplamente de acordo com a sugestão de Dierk, visto que o pensamento operacional formal envolve:

“ a habilidade para ...ver a necessidade de controlar variáveis, em fazer inferências a partir de dados e impor modelos quantitativos nas observações, especialmente aquele de proporcionalidade.” (Driver, 1983 p.61)

Rowell e Dawson e Nelson (1991) contestam isso, sugerindo que os alunos requerem um esquema apropriado passo a passo, conduzindo para um uso dos moles de uma maneira aceitável.

8.2 O raciocínio dos alunos sobre a proporção de massa dos reagentes

Barker (1995) relata as respostas de 250 alunos entre 16 e 17 anos a uma pergunta sobre a reação entre ferro e enxofre, que foi adaptada de um estudo de Briggs e Holding (1986). Foi dito aos alunos que 56g de ferro reage com 32g de enxofre para dar 88g de sulfureto de ferro, e se pediu que eles dissessem o que seria produzido quando 112g de ferro e 80g de enxofre reagissem. No começo do estudo, que durou 2 anos, cerca de 50% dos alunos deram a resposta correta, de que 176g de sulfureto de ferro seria produzido com algum enxofre existente. A resposta incorreta mais comum, dada por 32% dos alunos, foi a soma das quantidades, gerando 192g. Esses alunos não se deram conta da necessidade de aplicar proporção de massa dos reagentes. No final dos dois anos de estudo, cerca de 72% dos alunos deram a resposta correta, enquanto cerca de 16% deram a resposta de 192g.

BouJaoude e Barakat (2000) relatam que cerca de 40% do grupo de 40 alunos entre 16 e 17 anos calculavam a massa molar por dividir ou multiplicar o total de massas atômicas pelo coeficiente mostrado na equação química.

8.3 Aprendendo sobre “moles”

Modelando uma reação química

Rowell e Dawson (1980) começam a ensinar moles para alunos de 16 anos de idade por usar um modelo de uma reação química simples, como, por exemplo $2\text{Na} + \text{S} \rightarrow \text{Na}_2\text{S}$, representada por pequenas moedas. Depois, a idéia de proporcionalidade é introduzida por se mostrar uma reação em que “2As” se transformam em “1C”. Pergunta-se aos alunos o que seria produzido se somente “1A” estivesse disponível. Uma vez que a idéia de que ocorrem reações em proporção foi desenvolvida, Rowel e Dawson introduzem a idéia de que o número de partículas envolvidas talvez seja bem grande. Nesse ponto, eles retornam a reação original e pedem aos alunos para imaginarem que esses são átomos de elementos químicos. A conservação do número de átomos e de massas é enfatizada a cada passo. Os autores realizaram um estudo de estratégia de ensino que durou seis semanas, usando essa abordagem passo a passo, e testaram os alunos antes, imediatamente depois e dois meses mais tarde. Eles concluíram que 21 dos 24 alunos deram respostas corretas no teste final. Isso refuta a sugestão de Shayer, visto que os alunos não foram pré-selecionados pelas suas habilidades de pensar de uma maneira operacional formal. Os autores concluem:

“Ensinar o conceito de mol não é uma tarefa fácil, mas não precisa ser vista como uma montanha intransponível como alguns tem visto.” (p.707)

Usando algoritmos

Kean et al (1988) defendem os algoritmos para ajudar a ensinar e aprender a idéia de mol. Eles mostram que um algoritmo útil “permite que os alunos resolvam problemas de uma maneira significativa, ao invés de resolver por repetição” (p. 987). Eles sugerem uma estratégia de oito passos para ajudar os alunos a inventar um algoritmo por converter medidas de massa em medidas de volume e vice-versa. De maneira similar, pode-se ensinar os alunos um algoritmo por resolver os problemas proporcionalmente e, finalmente, pelo cálculo de massas reatantes. Essa estratégia pode ajudar a desenvolver a confiança dos alunos em lidar com dados numéricos, mas requer instruções cuidadosas para assegurar a aplicação apropriada. Finley et al (1992) ressaltam uma nota de aviso:

“Pesquisas recentes têm indicado que a habilidade de resolver problemas numéricos não garante o entendimento conceitual das bases moleculares do problema.” (p 254)

Apesar da proposta de Kean et al talvez prover os meios para o fim, os alunos talvez aprendam o algoritmo, mas não o significado químico. A abordagem de Rowel e Dawson, enraizada, firmemente, nos princípios químicos de estequiometria, tem muito para recomendar.

8.4 Implicações para o ensino

Esses dados sugerem que não há um acordo quanto a uma estratégia para ensinar mol de maneira bem-sucedida, ou seja, para assegurar que os alunos entendam o princípio. De fato, as evidências apontam que há uma discordância fundamental sobre apresentar o “mol” como uma quantidade ou um número. Essa diferença pode resultar melhor em adoção de estratégias de ensino de acordo com um ponto de vista individual, ao invés de considerar as necessidades dos alunos. Os pesquisadores também apontam para alunos experienciando problemas em aplicar idéias sobre mol em outras áreas da Química, normalmente porque as habilidades matemáticas são pobres. Uma terceira dificuldade é a tendência em promover o uso de algoritmos no ensino sobre mol, ao invés de desenvolver o entendimento.

Tudo isso talvez resulte em uma ampla variedade de entendimentos e dificuldades sobre mol entre os alunos. Entender o conceito sobre mol é algo central para fazer progresso em Química, e ir além do nível básico. Assim, é extremamente importante que os professores façam isso corretamente. Segue sugestões para progresso no ensino.

8.5 Sugestões para o progresso no ensino

Há uma percepção forte de que “o mol” é um tópico “difícil” que só pode ser ensinado para os alunos mais hábeis. Eu acho que isso é difícil de justificar. Com cuidado, um entendimento do mol como um número e como uma maneira de representar uma quantidade da substância, pode ser aceita pela maioria dos alunos com menos de 16 anos. Esse assunto é a abordagem para ser considerada.

Eu defendo a idéia de apresentar o mol, inicialmente, como uma maneira conveniente para contar um grande número de átomos. A unidade definida pelo número de Avogadro de partículas representa uma quantidade conveniente da substância que pode ser medida, usando equipamento convencional. O número de moles pode ser manipulado por técnicas matemáticas simples para fornecer a concentração e, então, os valores de pH, por exemplo. No entanto, a idéia chave é que os alunos precisam dar-se conta de que o valor M_r ou A_r de qualquer substância medida como massa em gramas contém todos o mesmo número de partículas. Uma vez que isso está entendido, “moles” podem ser manipulados matematicamente, usando a relação simples moles = massa/ M_r ou A_r . A partir daí, é um passo relativamente curto trabalhar com concentrações de moles em soluções.

Quando eu comecei a ensinar Química, muitos professores experientes sugeriram maneiras que eu poderia apresentar o conceito de mol para os alunos pela primeira vez. No caso de algum leitor precisar, eu descreverei o método que acho mais eficaz.

O ponto inicial é ter duas amostras de elementos químicos com valores A_r que sejam números de proporção inteiros. Um bom exemplo é o cobre (permite $A_r = 64$) e enxofre ($A_r = 32$), apesar de outros pares também serem possíveis. Eu começo por mostrar aos alunos amostras já medidas, rotuladas claramente “64g de cobre” e “32g de enxofre”, e peço que eles notem a proporção. Eu também peço que eles olhem a quantidade relativa através da aparência no pote. Com alguns grupos eu não uso o termo “proporção”, mas digo “quantas vezes tenho a massa de enxofre na massa de cobre?”. Os alunos sempre respondem corretamente. Então, eu começo a fazer uma lista – uma para o cobre, outra para o enxofre, começando por escrever os símbolos deles no quadro. Abaixo dos símbolos aparece “64g” e “32g”, e, então, “2:1”. Então, eu peço para os alunos imaginarem que eu tenho um átomo de cobre e um átomo de enxofre. Eu peço para me dizerem a proporção de massa dos átomos. Eu escrevo um átomo debaixo de cada cabeçalho. Eu pergunto se podemos medir um átomo de cada para a experiência. A resposta é não, porque os átomos são muito pequenos para serem medidos no nosso laboratório. Então eu faço a mesma pergunta com número de átomos cada vez maiores, 100, 1000, 1 milhão e estimo a massa – bem pequena; em cada caso não poderíamos medir a

quantidade que poderíamos usar, mas a cada vez a proporção da massa é a mesma. Isso é importante. Então, eu mudo a pergunta e digo, “Agora, olhem as amostras novamente. Elas estão na mesma proporção. Nós podemos medir essas quantidades. O que você pode dizer sobre os números de átomos nessas amostras?”. Normalmente, a turma precisa de alguns segundos para pensar sobre isso. Eu tenho achado melhor não interromper esses segundos. Então, invariavelmente, uma pessoa dá a resposta: “Eles devem conter o mesmo número de átomos”. Essa resposta merece um grande elogio, visto que o aluno deu um salto ao trabalhar com essa idéia chave. Assim que um dos alunos se dá conta disso, ocorre um efeito dominó. Algumas vezes, o processo precisa ser repetido. Uma vez satisfeita porque os alunos entenderam, eu discuto o que é o número, mostrando uma indicação do tamanho e reforçando a idéia de que átomos são muito pequenos. Os pontos para enfatizar são que a massa de qualquer coisa pesada em gramas contém o número de Avogrado e que as massas existem em proporções fixas para umas com as outras e não podem ser mudadas. Seguindo isso, os alunos podem receber material para trabalhar para reforçar e dar suporte para essas idéias.

Eu acho que a vantagem de uma abordagem como essa é que essa abordagem não complica demais o assunto, mas fornece uma estratégia de raciocínio simples que está ao alcance da maioria dos alunos. Uma vez que a fase introdutória está terminada, é necessário um reforço regular. Isso leva a segunda sugestão para progresso – a de incentivar os alunos a ter confiança nas suas habilidades matemáticas. Eu tenho consciência de que muitas escolas usam ou estão desenvolvendo cursos de matemática especialmente para químicos, e encorajam fortemente os alunos a cursarem. Os alunos precisam sentir confiança para usar princípios matemáticos como ferramentas para desenvolver o entendimento em química, ao invés de encarar como altos obstáculos que precisam ser cruzados e normalmente derrubados.

Além de tudo isso, o mol é um tópico que requer paciência e cuidado ao ensinar, reforços posteriores, e contínuos elogios para alunos que lidam com matemática e precisam fazer com que as idéias abstratas façam sentido.

9 Os conceitos dos alunos sobre ligação química

Os químicos têm estudado extensivamente as maneiras com que as partículas se combinam para criarem a aparentemente infinita variedade de substâncias que há à nossa disposição. Quase todas as moléculas têm ligações que ocorrem entre os dois extremos de ligação “covalente” e “iônica”. O comportamento de uma substância é influenciado por ligações intermoleculares, que, se extensas, influenciam o ponto de ebulição e de fusão, a estrutura e o uso potencial. Os alunos são introduzidos em ligações intermoleculares durante

cursos de química para alunos com mais de 16 anos. Relativamente pouco trabalho tem sido realizado sobre as idéias de alunos com menos de 16 anos sobre ligações químicas.

9.1 Ligações covalentes

A idéia mais simples associada com a formação de uma ligação covalente simples é a de que um par de elétrons é compartilhado entre dois átomos, e em uma ligação dupla dois pares de elétrons são compartilhados. Em um ou outro caso, o compartilhamento confere estabilidade em ambos os átomos envolvidos e se requer uma quantidade fixa de energia para quebrar a ligação.

O Desenvolvimento de idéias básicas

Barker (1994) relata as mudanças nas idéias básicas dos alunos sobre ligações covalente e estrutura molecular em um período de mais de 2 anos. Cerca de 18% dos alunos com 16 anos de idade conseguiram distinguir entre ligações covalentes duplas e simples no metano, eteno e em moléculas de água em termos de número de elétrons envolvidos. Cerca de 66 % do total dos alunos conseguiram fazer o mesmo cerca de 15 meses mais tarde. Nesse estágio, mais de 25% distinguiram entre ligações simples e duplas, mas não especificaram o número de elétrons envolvidos. Cerca de 7 % dos alunos do final do estudo acharam que as ligações tinham 1 ou 2 elétrons.

Em uma pergunta associada, Barker explorou as idéias dos alunos sobre a energética envolvida na formação de ligação por perguntar aos alunos por que a molécula de metano tem a fórmula CH_4 . Muito poucos alunos, em qualquer fase da pesquisa, responderam em termos energéticos, mas cerca de 6% no começo do estudo, e cerca de 16% no final disse que “C e H são mais estáveis como CH_4 .”. Uma resposta muito comum, dada por 56% dos alunos com 16 anos de idade, e por 61% dos alunos com 18 anos era a de que “C precisa de 4 ligações”. Essa resposta ignora o hidrogênio na molécula e atribui comportamento antropomórfico ao átomo de carbono. Taber e Walts (1996) acharam que esse tipo de linguagem é extensa, e não é usada somente pelos alunos, mas também pelos professores na sua campanha de promover o entendimento dos assuntos da ciência.

Progresso na compreensão

Taber (1997) realizou estudos de caso, explorando o desenvolvimento da compreensão de ligações químicas em estudantes de química do nível A. Um relatório anterior (Taber 1993a e b) descreve 3 entrevistas de “Annie” sobre ligações químicas e indica um progresso na compreensão dela. Na primeira entrevista, ela reconhecia que uma ligação

covalente existe em moléculas diatômicas em que os dois átomos são idênticos. Ela não explicou a formação de ligação covalente em termos de compartilhamento de elétrons. Ao invés disso, Annie disse que os átomos “se juntam”. Para decidir se uma ligação era covalente, Annie olhou para os elementos químicos envolvidos para estabelecer se ambos eram não-metais. Se fossem, então uma ligação covalente se formaria entre eles. Após vários meses em um curso de química do nível A, Annie descreveu ligações covalentes em termos de elétrons serem compartilhados, e se deu conta de que um resultado do compartilhamento de elétrons era que os átomos adquirem uma “camada completa” de elétrons. Perto do fim do curso, Annie foi entrevistada novamente. Ela pôde descrever as atrações eletrostáticas entre os núcleos atômicos e os elétrons, o que indica que ela mudou para uma visão aceita de ligações covalentes. O progresso de Annie está refletido na sofisticação ascendente das idéias dela.

Taber desenvolveu um modelo para fazer com que o entendimento das idéias sobre ligações químicas entre alunos de química de mais de 16 anos se aprimore. Ele argumenta que os alunos começam esses cursos com uma variedade de ferramentas conceituais adquiridas de estudos anteriores de “ciência-curriculo”, e que esses estudos são desenvolvidos primeiro em “estrutura da regra do Octeto” em direção ao “princípio explicativo da energia mínima”, que usa idéias baseadas em teorias quânticas simples, usando orbitais atômicos. Um ponto-chave é que a evidência dele suporta o fato de os alunos acharem fácil adquirir ou adicionar novas ferramentas conceituais ao cenário antigo, ao invés de dismantelar modelos existentes. O estudo de Barker suporta isto: apesar de os alunos terem sido ensinados “novas” idéias baseadas em orbitais atômicos, ao responderem a pergunta dela sobre estrutura molecular, a maioria das respostas usava modelos existentes para explicar a estrutura molecular. Mesmo se os alunos tivessem “aprendido” o novo material, eles ainda mantinham seus modelos existentes. Assim, parece haver uma necessidade aqui de encorajar os alunos a assimilarem e aplicarem novas informações.

Dificuldades associadas

Ao aprenderem sobre ligações covalentes, os alunos também descobriram algo sobre as formas das moléculas e que quase todas as ligações covalentes são polarizadas. Além disso, os alunos são apresentados a “regras” de combinação, como, por exemplo, a “regra do Octeto” que prediz, de uma maneira limitada, o número máximo de elétrons permitido em qualquer orbital atômico. Assim, além de aprender sobre idéias químicas básicas sobre elétrons serem compartilhados, também se espera que os alunos assimilem muitos outros conceitos associados. No seu trabalho com Australianos de 17 anos de idade, Peterson e Treagust (1989)

acharam que as idéias dos alunos desenvolveram-se durante um curso de química avançado, mas o progresso deles era, normalmente, acompanhado de concepções errôneas sobre essas áreas associadas. Por exemplo, eles descobriram que 23% dos alunos com 17 anos achavam que os elétrons eram igualmente compartilhados em todas as ligações covalentes, enquanto $\frac{1}{4}$ atribuía a forma das moléculas à repulsão entre o par ligante de elétrons, ou a polaridade da ligação. Somente cerca de 60% dos alunos sabiam a posição correta do par de elétrons em uma ligação entre hidrogênio e flúor. A mesma pergunta feita para estudantes universitários do primeiro ano que estudavam química (Peterson, 1993) produziu 55% de respostas corretas, mostrando que a maioria dos alunos que aprendem sobre polaridade das ligações retém o conhecimento.

9.2 Ligações iônicas

As idéias básicas associadas com a formação de ligações iônicas envolvem a transferência de elétrons entre dois átomos neutros eletricamente, a fim de produzir íons com carga total positiva e negativa. O número de elétrons transferidos ou aceitos por um átomo está relacionado com a valência do elemento. As cargas negativas e positivas estão “por toda parte” dos íons. Assim, dependendo do arranjo do acondicionamento, os íons formam ligações iônicas com mais de um íon de carga oposta, formando uma estrutura gigante que chamamos um cristal.

Os alunos acham as ligações iônicas difíceis de aprender, descrever e explicar

Evidências emergentes sugerem que o tópico é problemático para os alunos, e que essas dificuldades poderiam apresentar obstáculos significativos para o entendimento. O estudo de Barker (1995) provê evidências preliminares para as dificuldades dos alunos a partir de uma pergunta um tanto genérica, investigando a formação de ligações iônicas entre átomos de cloro e sódio. A questão compreendia um diagrama em que um pedaço de metal sódio aquecido foi colocado em um pote contendo gás cloro, junto com uma descrição da reação. Foi pedido que os alunos explicassem o que estava acontecendo no pote. No começo do estudo, cerca de 20% dos alunos deram respostas que sugeriam que eles tinham conhecimento sobre ligações iônicas, incluindo a resposta de que “um elétron é transferido do sódio para o cloro e um composto estável se forma”. Mais de 54% dos alunos nesse estágio sugeriram simplesmente que o sódio e o cloro estão “reagindo” ou “formando um composto”. No final da pesquisa, apesar dos alunos estarem tendo aula durante os 15 meses, esses números eram respectivamente 34 % e 48%, comparado com números muito mais altos (conforme relatado acima) para ligações covalentes.

Em um nível mais específico, o trabalho de entrevista de Taber (1993a e b) com Annie também indica problemas. Annie começou o curso no nível A por reconhecer uma classe de ligações encontradas entre metais e não-metais, as quais ela chamou de “iônicas”. Ela não conseguia reconhecer o tipo de ligação presente em uma representação de um diagrama de um cristal de cloreto de sódio, descrevendo como “somente átomos de sódio e cloro” arranjados “em filas” (p.18). Taber resume a visão dela do cloreto de sódio:

“...a estrutura é reunida, mas sem nenhuma ligação; há cargas nos átomos neutros; os átomos estão se combinando sem se sobrepor; e os átomos estão trocando não só elétrons, mas forças de atração relacionadas com a configuração eletrônica.” (p.19)

Na segunda entrevista, Annie identificou os íons no cloreto de sódio, mas usou o termo “molécula” para descrever substâncias iônica, apesar dos elementos se combinarem para formar partículas discretas, assim como o carbono e o hidrogênio se combinam para formar uma molécula de metano. Na entrevista final, Annie reconheceu que em uma ligação iônica está envolvida a transferência de elétrons, mas ela ainda fazia confusão quanto a se havia algum tipo de ligação no cloreto de sódio, explicando:

“...é quase como se eles estivessem misturados, mas eles não se combinaram. Eu acho que, pra todos os efeitos, eles estão juntos somente por atração de suas forças.” (p.23)

Annie sabia que cargas positivas e negativas implicavam atração, mas não conseguia explicar precisamente o papel delas na estrutura no cloreto de sódio.

As respostas de Baker sugerem que químicos entre 16 e 17 anos não conseguem descrever ligações iônicas de maneira precisa, enquanto o trabalho de Taber fornece evidências detalhadas para explicar o porquê isso ocorre. Mais detalhes dos problemas dos alunos são discutidos.

Compostos iônicos a partir de moléculas discretas

Butts e Smith (1987) relatam os resultados de 28 entrevistas com alunos australianos de 17 anos de idade que tinham estudado ligações químicas. Foi pedido que esses alunos desenhassem e explicassem a estrutura do cloreto de sódio. Enquanto muitos associaram o composto com ligações iônicas, muitos não entendiam que ligações iônicas são tridimensionais. Butts e Smith também relatam que alguns alunos consideram que o cloreto de sódio é molecular, sugerindo que se apresentavam ligações covalentes entre o sódio e o cloro, mas que eram necessárias ligações iônicas entre as moléculas para criar a estrutura completa.

Taber (1994) sugere que os alunos adquirem essa idéia porque eles não “compartilham a estrutura de conhecimento eletrostático” do professor, e também porque eles são ensinados sobre a formação de ligações iônicas de uma forma que promove o modelo molecular.

Nesse estudo australiano, foi pedido que os alunos descrevessem o que ocorreriam quando cloreto de sódio fosse dissolvido em água. Todos os alunos responderam que as partículas seriam dispersas, apesar de alguns alunos pensarem que os íons de sódio e de cloro ainda atrairiam um ao outro, de forma que haveria uma estrutura “residual” na água. Dois alunos sugeriram que o sal reagiria com a água, formando sódio, cloro, hidrogênio e íons hidróxidos. Barker (1994) relata conclusões similares. Ela concluiu que cerca de 28% dos alunos do nível A iniciante e 40% do mesmo grupo que estavam completando o curso visualizavam intuitivamente ácido clorídrico como moléculas de cloreto de hidrogênio em solução. Os alunos usavam a idéia de que os elementos “trocavam de parceiros” com o cloro, para explicar o deslocamento do gás hidrogênio quando o metal magnésio era adicionado. Fazendo uma estimativa, essas respostas sugerem que as moléculas de cloreto de magnésio em solução seriam o produto.

Taber (1998) encontrou evidências que indicam uma possível explicação para esse raciocínio. O trabalho detalhado dele leva a sugestão de que os alunos percebem a formação de ligações iônicas em termos de eletrovalência dos átomos envolvidos. Nesse modelo, o cloreto de sódio existe como moléculas de “NaCl” porque o sódio e o cloro, ambos tem eletrovalência de um; um átomo de sódio perde um elétron, o qual é ganho pelo átomo compartilhador de cloro, e os dois íons formam um par único. Similarmente, o cloreto de magnésio existe como $MgCl_2$, porque o cloro (valência um) combina com o magnésio (valência dois), permitindo que cada átomo de magnésio perca dois elétrons, um para cada átomo compartilhador de cloro. O modelo significa, essencialmente, que os alunos vêem a formação de ligações iônicas da mesma maneira que a formação de ligações covalentes, com o fator chave sendo a geração de “camadas de elétrons cheias”. As camadas podem ser preenchidas pelo compartilhamento ou transferência de elétrons – cada um resultando em uma molécula discreta, a fórmula sendo determinada pela valência dos elementos. Taber relata uma consequência disso – um aluno argumenta que um íon de sódio não poderia formar seis ligações iônicas a menos que o íon tenha uma carga de 6^+ .

Uma “estrutura molecular” para compostos iônicos

Taber continuou o seu trabalho em ligações iônicas com um instrumento de pesquisa aplicado para 370 alunos (1997b). Esses dados levam-no a formular uma “estrutura molecular” que os alunos usam para descrever ligações iônicas. A estrutura compreende 3 conjecturas chamadas

“valência”, “história” e “somente forças”. A conjectura de valência estabelece que o número de ligações iônicas e íons que podem se formar é determinado pela configuração eletrônica; a conjectura da história que as ligações só podem se formar entre átomos que têm elétrons doadores e aceptores; enquanto a conjectura “somente forças” estabelece que íons interagem com outros íons, mas uma ligação iônica só pode ser formada entre um íon de sódio e um íon cloreto (p.101), de modo que essas interações extras são “somente forças” e não ligações. Isso implica a crença de que compostos iônicos adotam uma estrutura molecular como moléculas covalentes, mas com ligações iônicas entre íons ao invés de ligações covalentes entre os átomos.

9.3 Ligações intermoleculares

Ligações intermoleculares normalmente não aparecem em cursos de química para alunos com menos de 16 anos na Inglaterra. Idéias sobre ligações de hidrogênio, outros tipos de ligações dipolo-dipolo, incluindo aquelas freqüentemente chamadas de “forças de van der Waals” são ensinadas em cursos para alunos com mais de 16 anos. O tópico tem recebido relativamente pouca atenção dos pesquisadores em educação química.

9.3.1 Ligações de hidrogênio

Ligações de hidrogênio surgem quando o hidrogênio está ligado aos elementos altamente eletronegativos flúor, oxigênio e nitrogênio. Por exemplo, no ácido fluorídrico/fluoreto de hidrogênio, os elétrons na ligação covalente entre hidrogênio e flúor são distribuídos em direção ao elemento eletronegativo, deformando a nuvem eletrônica e criando cargas positivas e negativas permanentes nas moléculas, referidas como um “dípolo”. O núcleo do hidrogênio contribui para a carga positiva e a nuvem eletrônica distorcida ao redor do átomo de flúor adquire uma carga negativa. A carga positiva de uma molécula pode se alinhar com a carga negativa de outra, resultando em um tipo específico de atração eletrostática chamada “ligação de hidrogênio”.

Avanço no desenvolvimento de idéias básicas

O raciocínio de alunos sobre ligações de hidrogênio tem sido explorado por Barker (1995) e Taber (1993a). Na pesquisa de Barker, pediu-se que 250 alunos no nível A iniciante identificassem as ligações entre moléculas de água, e explicassem o que distinguia essas ligações das ligações covalentes. No começo, cerca de 18% identificaram essas ligações como ligações de hidrogênio. 15 meses mais tarde esse número aumentou para 69%. Cerca de 20% começaram por sugerir que as ligações eram ligações “líquidas” ou “fracas” entre as moléculas,

possivelmente porque uma falha do ensino formal levou a tentar adivinhar a partir do diagrama dado. Cerca de 8% no primeiro estágio descreveram as ligações de hidrogênio como “uma força de atração e não como uma ligação”. 15 meses mais tarde, poucos alunos deram como respostas ligações “líquidas/fracas”. No entanto, 24% deram a descrição de “atração”. Isso sugere que os alunos são ensinados a distinguir entre ligações intermoleculares e outros tipos de ligações, e atribuir a elas diferentes propriedades. Isso não é quimicamente preciso nem necessário.

O trabalho de Taber com Annie (1993a) fornece uma visão mais específica do avanço no entendimento de ligações de hidrogênio. Foi apresentado para Annie um diagrama representando uma cadeia de moléculas de fluoreto de hidrogênio. As moléculas foram mostradas com a camada eletrônica apropriada distorcida, e foram desenhadas tocando umas as outras. Annie não pensou que alguma ligação estava representada entre as moléculas. Taber sugere que isso talvez ocorra porque as formas não se sobrepõem umas as outras. Na segunda entrevista, que ocorreu após algumas aulas, Annie podia descrever a diferença entre uma ligação O-H em uma molécula de água e a ligação entre duas moléculas de água:

“Você tem dois hidrogênios adicionados a um oxigênio. Então, o hidrogênio traz uma pequena ligação entre um outro oxigênio, para juntar a estrutura, mas não é como..., é uma ligação, mas não é forte como seria uma ligação iônica.” (p.42)

Na sua terceira entrevista, Annie falou sobre ligações de hidrogênio, envolvendo pares de elétrons isolados e demonstrou uma compreensão muito mais clara do papel intermolecular da ligação de hidrogênio.

9.3.2 Outras ligações intermoleculares

Dipolos temporários ocorrem porque os elétrons se movem continuamente ao redor das moléculas. Cargas positivas temporárias se ligam com cargas negativas temporárias. Esse tipo de interação pode ser chamada de “força de van der Waals”. Cada atração eletrostática é pequena em termos de energia, mas quando milhares ou milhões estão sendo feitas e quebradas, seus efeitos na estrutura e na função de uma substância é significativo.

Barker explorou o raciocínio de alunos sobre ligações intermoleculares, que não fossem ligações de hidrogênio, por pedir que os alunos explicassem por que o vapor a 1000°C acima de uma mistura de cloreto de titânio (IV) e cloreto de magnésio compreende somente cloreto de titânio(IV), dado que o cloreto de titânio(IV) é “covalente” e o cloreto de magnésio é “iônico” na natureza. No começo, somente 1% sugeriu que as ligações intermoleculares entre as

moléculas do cloreto de titânio (IV) quebrariam. Esse número aumentou para 16% 15 meses depois. Inicialmente, os alunos do nível A iniciante estavam divididos principalmente entre aqueles que pensavam que: substâncias covalentes tinham um ponto de ebulição mais baixo, e por isso era necessário mais calor para vaporizar o cloreto de magnésio (22%); que ligações iônicas não podem ser quebradas pelo calor (13%); que ligações covalentes são mais fracas do que ligações iônicas, e por isso quebram (24%), e aqueles alunos que não deram nenhuma resposta ou deram respostas indecifráveis (33%). Esses dados apontam para o uso disseminado de idéias qualitativas e vagas que focam o comportamento das substâncias, apesar dos fatos de que o curso desses alunos apresenta todas as ligações intermoleculares de uma maneira quimicamente correta, influenciada pelo contexto.

Na sua primeira entrevista, perguntou-se a Annie (Taber, 1993a) sobre a estrutura do iodo. Ela explicou que as moléculas de iodo são atraídas por “forças de pressão”, e não por ligações químicas. Após algumas aulas, ela se deu conta da existência das forças de van der Waals, e colocou isto corretamente entre as moléculas de iodo. No entanto, ela pensou que essas forças também ocorreriam em compostos como cloreto de sódio, embora ela estivesse aplicando as forças de van der Waals a qualquer estrutura que ela não conseguia explicar de outra maneira. Neste segundo estágio, Annie sabia que as forças de van der Waals seriam afetadas pelo calor, mas não conseguia explicar isso de uma maneira aceitável. Na sua entrevista final, Annie manteve a idéia de que as forças de van der Waals existiam em cloreto de sódio, e se deu conta de que essas ligações quebrariam antes das ligações covalentes quando uma substância fosse aquecida. Os pontos de vista de Annie suportam aqueles relatados no estudo de larga escala.

Dificuldades associadas

Ao aprenderem sobre ligações intermoleculares, alguns alunos desenvolvem concepções errôneas. Um dos erros mais comuns mencionados por Annie e relatados de uma maneira mais formal por Peterson e Treagust (1987) é o mau entendimento das diferentes localizações das ligações inter e intramoleculares. Cerca de 23% dos alunos pensavam que ligações intermoleculares ocorriam dentro de uma molécula covalente. Em seu estudo posterior, Peterson (1993) descobriu que 36% dos químicos no primeiro ano universitário pensavam que carboneto de silício tinha um alto ponto de fusão por causa das “fortes forças intermoleculares”.

Os alunos também entendem de maneira equivocada as forças relativas das ligações inter e intramoleculares. Peterson e Treagust relatam que 1/3 dos alunos australianos do sexto

ano que eles entrevistaram pensavam que “existe fortes forças intermoleculares em uma rede covalente contínua”.(p. 460)

9.4 Implicações para o ensino

Os professores contribuem para os problemas dos alunos com ligações químicas de muitas maneiras diferentes. Primeiro: é dada muita credibilidade para a “regra do octeto” para determinar fórmulas e ligações. Isso contribui significativamente para os problemas dos alunos com ligação iônica, porque eles usam isso (ou talvez são ensinados a usar) como uma técnica para determinar as fórmulas de todos os compostos. Ao ensinar ligações iônicas, a regra do octeto é aplicada para mostrar que alguns átomos “podem preencher suas camadas” através da transferência de elétrons, ao invés do compartilhamento de elétrons. A implicação é que uma ligação iônica se forma entre íons de cargas diferentes que se combinam para fazer uma molécula, como, por exemplo, o “NaCl”. Essa fórmula satisfaz a regra do octeto, e os professores podem parar por aí, deixando os alunos com a “estrutura molecular” de Taber. A evidência apresentada acima indica que, como um resultado direto, os alunos não podem entender plenamente como um retículo cristalino se forma, o comportamento de soluções ácidas e a influências que as ligações iônicas tem no ponto de fusão. Além disso, a minha experiência no ensino mostra que os problemas dos alunos com experiências acontecem quando eles se deparam com o fato de que o elemento gás inerte pode formar compostos – isso vai de encontro com a “regra do octeto”.

Segunda, têm sido feitas muitas referências nessa sessão sobre o uso da linguagem ao ensinar esse tópico. Por exemplo, os alunos adotam uma linguagem antropomórfica quando descrevem o comportamento dos átomos. Normalmente, na tentativa de fazer com que o tópico seja “entendível” para todos os alunos, nós escorregamos nessa linguagem com o objetivo de ajudar e não com a intenção de tornar algo mais difícil com o passar do tempo. No entanto, fica claro que, livrar-se desse tipo de raciocínio, como, por exemplo, pensar no carbono como uma molécula “querendo fazer quatro ligações”, é difícil para os alunos entenderem. Deveríamos tentar evitar isso, por ser de pouco valor e de pouca ajuda na formação de um raciocínio químico mais elevado. Um segundo exemplo está relacionado com o uso de termos específicos no ensino de ligações químicas. O uso da palavra “atração” no ensino sobre ligações de hidrogênio só pode ter vindo dos professores, visto que os materiais didáticos do curso que são estudados pelos alunos não usam esse termo. A distinção é quase desnecessária, e pode dar suporte para as idéias dos alunos que Taber encontrou na descrição de ligações iônicas como “somente forças”.

Terceiro, há uma clara evidência de que o ensino para alunos com menos de 16 anos, vai gerar químicos com mais de 16 anos com algumas dificuldades. Um aluno no estudo de Barker estava apto para citar uma tabela que ela tinha aprendido no curso para alunos com menos de 16 anos com declarações vagas como: “compostos covalentes têm um baixo ponto de ebulição” a fim de responder às perguntas do teste naquele nível. Ela explicou em uma entrevista como que isso tinha causado reais problemas pra ela quando ela se deparou com novos materiais no nível A, visto que ela não tinha nenhuma base. O meu argumento aqui é que nós fazemos um desserviço para os nossos alunos com menos de 16 anos quando ensinamos ligações químicas de uma maneira qualitativa, e que maior confiança e clareza de entendimento poderia surgir por se adotar uma abordagem completamente diferente.

9.5 Sugestões para o progresso no ensino

O ponto de vista de Taber de que os alunos não desconstróem antigas ferramentas conceituais, mas adicionam novas é importante. Ao aplicar isso para ligações químicas, nós precisamos construir uma coleção correta de ferramentas conceituais que podem ser adicionadas, ao invés de comprometer com declarações vagas e antropomórficas centradas em uma regra falsa. Apesar de ser muito mais fácil de dizer isso do que fazer, eu gostaria de dar 3 sugestões:

Primeiro, eu concordo com Tager que ligações deveriam ser ensinadas a partir de uma perspectiva eletrostática. A descrição de Taber (1997a) da “ciência de currículo” permite a definição de uma “estrutura” eletrostática que inclui todos os componentes que um químico pode esperar de um estudante de 18 anos competente. A minha sugestão para ajudar os alunos a adquirirem esse nível é ensinar que todos os tipos de ligação são essencialmente idênticos uma vez que todas as ligações envolvem atração eletrostática. Variações em tipos de ligação surgem de diferentes partículas sendo envolvidas. O ponto é enfatizar os fatores comuns entre as ligações, ao invés de tentar salientar as diferenças como, por exemplo, “compartilhar” ou “transferir”, “atração”, “ligação” ou “força”. Taber aponta para o uso de núcleos e elétrons como uma maneira avançada para introduzir isso. Ele estabelece que “em todos os processos químicos, os núcleos e os elétrons mantêm suas integridades” (1997a, p.388). Visto que isso é verdade, não há razões pelas quais esta declaração não poderia substituir a “regra do octeto”, permitindo que os alunos olhem para os elétrons e para os núcleos envolvidos em um tipo de ligação.

Segundo: ao ensinar tipos de ligação, a terminologia deveria ser consistente e clara. Não há necessidade de usar termos como “forças de van der Waals”, “forças de London” ou “forças de dispersão” ao ensinar ligações intermoleculares. Se o primeiro ponto salientado

acima for aceito, então esses termos se tornam ultrapassados, porque o que é necessário é uma linguagem que permita os alunos aplicarem a estratégia dos “núcleos e elétrons” de uma maneira consistente. Assim “ligações dipolo permanente-dipolo permanente” e “ligações dipolo induzido-dipolo induzido” podem ser apresentadas como termos significativos e podem ser aplicadas facilmente para moléculas desconhecidas. Junto com isso, a idéia de que “a quebra de uma ligação requer energia” pode ser reforçada, visto que os alunos podem ser apresentados para dados indicando energias de ligação relativas. Isso habilitará os alunos a fazerem um julgamento apurado sobre os efeitos das condições externas de uma substância, ao invés de serem forçados a utilizarem noções vagas desenvolvidas por alunos com menos de 16 anos que ligam pontos de ebulição e ligações.

Terceiro, podemos tentar desenvolver estratégias de ensino ativas para ajudar os alunos a desenvolverem o raciocínio deles. Uma estratégia que eu tenho usado com alunos do 10º ano (entre 14 e 15 anos de idade) para explorar as idéias deles antes de aulas adota uma abordagem “questionar sobre uma transformação”. Eu demonstro transformações banais, como, por exemplo, uma pedra de gelo derretendo, dissolver cloreto de sódio em água e dissolver açúcar em água, e peço para os alunos usarem modelos moleculares pra explicar o que eles achavam que aconteciam com as partículas. Eu envolvia pequenos grupos de alunos em um determinado momento. Assim, os argumentos podiam ser desenvolvidos a partir de diferentes visões. Usando essa abordagem eu conseguia ver alunos discutindo com idéias conflitantes, como a de que a estrutura do cloreto de sódio podia quebrar em moléculas com a fórmula “NaCl” ou quebrar completamente; e que as moléculas da água podiam quebrar quando aquecidas, e, então podiam se regenerar quando resfriadas ou permanecerem intactas. A técnica requer mais desenvolvimento, mas me permitiu avaliar algumas idéias do raciocínio dos alunos e permitiu um julgamento das concepções errôneas que poderiam ser discutidas melhor em uma seqüência de aula.

Uma outra abordagem relacionada, mas mais formal, pode incluir o uso de um instrumento de teste de diagnóstico para avaliar as concepções errôneas. Tan e Treagust (1999) desenvolveram um teste de múltipla escolha para ser usado com alunos entre 14 e 16 anos. As nove perguntas estão relacionadas com concepções errôneas conhecidas sobre ligações químicas. Assim, como parte de uma estratégia de ensino, esse teste poderia ser útil. Os autores também provêem um mapa conceitual detalhado para ligações químicas (p.77) que os professores talvez achem útil como um guia para indicar relações entre diferentes aspectos sobre o tópico.

10. Os conceitos dos alunos sobre termodinâmica

O conceito químico mais simples associado com termodinâmica é o de que energia é liberada quando se formam ligações e o de que é necessário energia para fazer com que uma ligação se quebre. Estudantes com mais de 16 anos também aprendem a Primeira Lei da Termodinâmica que estabelece que “A energia de um sistema isolada é constante” (Atkins, 1986, p.40), e são ensinados a aplicar isso em cálculos de mudanças de entalpia. As idéias dos alunos sobre esses aspectos da química têm recebido relativamente pouca atenção da parte dos pesquisadores.

10.1 Energia é liberada quando se formam ligações químicas

Ross (1993) nota que muitos alunos acham que energia é liberada quando ligações químicas quebram. Ele acredita que esta concepção errônea é uma barreira para aprender, e começa quando os alunos desenvolvem uma forte associação entre combustível e energia ao aprenderem, por repetição, a frase “combustíveis contêm energia”. O desenvolvimento dessa idéia continua quando os alunos associam “combustível é um depósito de energia” com ligações químicas. Por exemplo, eles aprenderão que cada molécula de metano envolve a formação de quatro ligações covalentes entre carbono e hidrogênio. É mais fácil imaginar que a energia associada combustão do metano é produzida quando essas ligações quebram, do que imaginar que “sobram” quando novas ligações se formam. As idéias dos alunos sobre combustão foram discutidas anteriormente. Isso revela que muitos dos alunos com 15 anos não sabem de onde vem o calor produzido na combustão. A ligação química provê uma resposta para eles. Ross (1993) sugere que para ajudar os alunos, os professores deveriam apresentar as reações entre combustíveis e oxigênio como um “sistema oxigênio-combustível” e ajudá-los a desenvolver idéias sobre as forças relativas das ligações covalentes em moléculas diferentes.

Um suporte para a persistência dessas idéias entre químicos com mais de 16 anos vem do estudo longitudinal de Barker (1995). Foi pedido que os alunos explicassem de onde vem a energia quando o metano queima. Inicialmente, somente 6% dos alunos (com 16 anos) disseram que a energia era de uma formação de ligação. Outras respostas incorretas ou descritivas incluíam: energia é armazenada no metano (13%); a energia vem da queima do metano (14%); a energia vem da chama (7%) ou simplesmente “do metano”(6%). 15 meses depois, cerca de 50% dos alunos disseram que a energia veio da formação de uma ligação. Além disso, a proporção dos que pensavam que a energia era armazenada no metano também aumentou para cerca de 19%. Todas as outras respostas incorretas mostraram um declínio. Evidência adicional indicou que alguns alunos lembravam a idéia de que “combustíveis são

depósitos de energia” de seus cursos para alunos com menos de 16 anos, e achavam difícil de substituir esse raciocínio por raciocínios quimicamente mais apurados.

Em uma segunda pergunta, Barker pedia para os alunos selecionarem o diagrama de nível de energia que, na opinião deles, melhor representava a reação exotérmica entre o sódio e o cloro. Foram fornecidos três diagramas de reação exotérmica: um com alto nível de energia em uma reação exotérmica, um outro com muito pouca energia distribuída e o terceiro com o nível de energia bem no meio, entre o pico máximo e o mínimo. A reação exotérmica com alto nível de energia era a resposta “mais adequada”, mas nenhum dado era fornecido para suporte. Assim, ao analisar as respostas, qualquer um dos dois diagramas, relativamente mais exotérmicos, foram aceitos como corretos. Inicialmente, somente cerca de 12% selecionaram um diagrama apropriado, baseando suas respostas em razões aceitáveis, enquanto cerca de 30% escolheram um diagrama apropriado, mas forneceram declarações incorretas ou simplesmente descritivas, incluindo “a reação é exotérmica”. Cerca de 14% entenderam mal o termo “exotérmica” e selecionaram o diagrama com a diferença de energia muito pequena, explicando que a “reação não distribui muita energia” ou “a reação necessita de muita energia para começar”. Cerca de 5% relacionaram estequiometria da equação para a reação no comprimento das flechas, e selecionaram o diagrama com o nível de energia no meio, argumentando que este representava uma proporção de 2:1. 15 meses depois, mudanças marcantes eram aparentes. Cerca de 28% deram uma resposta esperada junto com uma explicação correta. Mais de 40% escolheram o diagrama correto sem explicação. Dadas as proporções, as outras respostas permaneceram quase inalteradas.

10.2 Energia é conservada em reações químicas

Brook e Driver (1984) concluíram que 1 em 20 alunos com 15 anos de idade usava idéias sobre a conservação de energia em respostas escritas. Quando perguntados mais diretamente sobre esse princípio, 2/3 dos alunos disseram “a energia é consumida ou perdida”. Os autores concluíram:

“...incluir uma declaração explícita do princípio da conservação de energia na pergunta parece não fazer muito efeito no padrão das respostas.” (Book e Driver, 1984 p. 12)

Finegold e Trumper (1989) encontraram dificuldades similares no estudo que realizaram com alunos entre 14 e 17 anos de idade. Eles relatam que 80% dos alunos entre 14 e 15 anos não conservam a energia ao responderem perguntas básicas. A energia sendo “consumida” era uma resposta comum. Ross (1993) nota que os alunos adquirem essa idéia de

experiências do dia-a-dia como bateria que descarregam, tanques de petróleo que precisam ser reabastecidos e eletricidade sendo “consumida” ao prover luz e calor.

Alguns alunos no estudo de Finegold e Trumper descreveram a energia como sendo “causada” por alguma coisa. Por exemplo:

“Aluno: Eu acho que alguma coisa está abastecendo, que causa energia...

Professor: Eu não entendi.

Aluno: Para todas as energias há alguma coisa que ativa elas, que dá a força” (P.106)

Esse aluno parece sugerir que a energia é feita por alguma coisa. Os autores não fornecem a proporção exata de alunos com essa visão, mas dizem que essa resposta é usada “freqüentemente”. (p.103)

10.3 A entropia aumenta até o máximo em reações químicas

O princípio essencial da Segunda Lei da Termodinâmica é o de que a desordem, ou entropia, aumenta quando uma reação química ocorre. Uma declaração alternativa é a de que “o calor não vai subir espontaneamente de um corpo mais frio para um mais aquecido” (Freemantle, 1987, p.177). Duit e Kesidou (1988) estudaram o entendimento de alunos entre 13-16 anos sobre essa declaração da Segunda Lei. Eles relatam entrevista com 14 alunos alemães com 16 anos. Um achado significativo foi:

“A maioria dos alunos tem intuitivamente a idéia correta de que as diferenças de temperatura tendem a se igualar e que os processos não ocorrerão de novo totalmente após as temperaturas se igualarem”.(p.193)

O princípio representado pela Segunda Lei da Termodinâmica não parece ir de encontro com as experiências do dia-a-dia dos alunos, então talvez essa idéia seja menos problemática. A Primeira Lei é mais problemática porque as transferências de energia incluídas em um sistema são freqüentemente invisíveis; por exemplo, quando um carro de brinquedo à pilha é ligado, ele irá funcionar somente por um período de tempo limitado, e para uma criança parecerá que a energia simplesmente “acabou” ou que tem sido “consumida”.O fato de que a energia realiza trabalho ao fazer com que o carro se mova contra o ambiente não é algo óbvio. Em contraste é provável que os alunos pensem que calor só pode ir em uma direção, visto que novamente essa idéia se encaixa com a experiência do dia-a-dia deles.

10.4 Implicações para o ensino

Vemos que a noção básica de que a energia é conservada não é uma noção bem aprendida pelos alunos. Ao invés disso, os alunos focalizam na “evidência” visual de que a energia é “consumida”. Talvez, o problema aqui seja mais geral do que somente com química – ensinar energia como transferência de energia é extremamente importante para desenvolver a idéia de que a energia, de fato, não é “consumida”, mas movida de uma forma para outra. A partir daí a idéia de entropia pode ser desenvolvida e, então, os fatores de controle de reações químicas podem ser entendidos.

Há claras ligações entre as dificuldades que os alunos apresentam para aprender as idéias básicas de termodinâmica e o ensino de química para alunos com menos de 16 anos. O foco dos alunos com menos de 16 anos está em aprender sobre o comportamento dos combustíveis de uma forma qualitativa, e, para fazer com que isso seja aceitável, dizemos que os combustíveis são “depósitos de energia” e que “energia é liberada com a queima do combustível”. A evidência apresentada aqui mostra que essas declarações não ajudam os alunos de química com mais de 16 anos, mas, ao invés disso, propaga a mensagem de que “energia é liberada quando ligações químicas quebram”. Algumas sugestões para a mudança dessa abordagem são sugeridas na próxima seção.

Há evidência que suporta os dados que descrevem as dificuldades que os alunos passam com a formação de ligações iônicas descritas anteriormente. A fonte da energia em sistemas combustível-oxigênio parece ser relativamente bem conhecida dos alunos do nível A, que estão completando o curso, em comparação com a fonte de energia uma reação simples de dois elementos em uma ligação iônica. Isso indica que o ensino nesse estágio talvez precise reforçar a conexão entre liberação de energia e formação de ligação para todos os tipos de ligações, ao invés de focalizar em ligações covalentes. O ensino de formação de ligações iônicas parece ser manejado de uma maneira diferente do ensino de formação de ligações covalentes, resultando em um contraste no entendimento desses dois tipos de ligação.

10.5 Sugestões para o progresso no ensino

Precisamos melhorar o entendimento dos alunos com menos de 16 anos sobre conservação de energia. Uma possibilidade é adaptar o trabalho de Boohan e Ogborn's (1996) sobre ensino de mudança de energia. Eles desenvolveram uma “linguagem de figuras”, representando uma ampla variedade de mudanças de energia que podem ser usadas para introduzir idéias-chave, incluindo a idéia de que energia é conservada e não destruída. A adaptação dessa idéia, de maneira que os alunos possam aplicar essa linguagem em situações químicas, ajudaria a introduzir as idéias, e um trabalho mais profundo levariam a introdução de

entropia. O princípio desde o começo deve ser o de encorajar os alunos a pensar em energia como estando disponível tanto em forma “útil” como em forma “não útil”. Um sistema combustível-oxigênio seria uma forma útil de energia, porque podemos transferir energia e fazer com que ela “seja usada” em aquecimento, preparação de alimentos ou fornecimento de eletricidade. O ponto-chave para ensinar é que essa energia é transferida para o ambiente em muitos “pacotes” pequenos que se difundem. Nós não podemos usar esses pacotes difundidos, ao contrário, a energia é transferida para o ambiente em uma forma não-útil. A quantidade de energia ainda é a mesma, mas o processo transformou a forma de energia de “útil” para “inútil”. Ao ensinar idéias sobre energia, nós normalmente dizemos que a “energia é conservada”, mas nunca explicamos inteiramente o porquê. Para ajudar os alunos com isso, é necessário o uso de uma linguagem pictórica junto com explicações que, de fato, mostrem o que acontece com a energia.

O princípio da “difusão” captura a essência da entropia, assim, eficazmente, eu proponho que se ensine isso muito antes do que se tem ensinado atualmente. As idéias qualitativas não são difíceis e fazem muito sentido quando acopladas com a idéia de conservação. Uma outra abordagem para introduzir a entropia de maneira qualitativa é sugerida pelo Curso de Química Avançado Salter (Burton et al, 1994). Esse adota a idéia de “número de maneiras” em que as partículas podem ser arranjadas, conduzindo ao fato de que a transformação mais provável será aquela que ocorrerá. Ao introduzir entropia usando esse plano, eu comecei por encorajar meus alunos a pensar sobre as possibilidades de ocorrência das transformações do dia-a-dia, e listei cerca de 10 dessas no quadro. As transformações incluíam as possibilidades de se ganhar o prêmio da Loteria Nacional Inglesa, do Príncipe Charles viver 100 anos, do meu time de futebol ganhar o campeonato nacional e assim por diante. Eu incentivei os alunos a oferecerem “possibilidades” para isso. Então, nós examinamos a lista, discutindo qual seria o resultado mais provável. Os alunos foram incentivados a pensar em como a possibilidade afeta o resultado; por exemplo, as possibilidades de se ganhar a Loteria Nacional Inglesa é de cerca de 14 milhões:1. Assim, a transformação mais provável é o de que 1 não ganharia. O mesmo raciocínio foi, então, aplicado para transformações químicas. A abordagem do curso Salter considera primeiro a combinação – há mais maneiras das moléculas de bromo e de partículas de ar poderem se combinar do que de existirem separadamente, assim as possibilidades são de que elas irão se combinar; feijão desidratado e ervilha em uma jarra podem ficar em duas camadas separadas, mas se a jarra é sacudida, há apenas uma separação perfeita. Assim, a transformação mais provável é a de que sacudir a jarra resultará em uma mistura. O princípio da combinação também é ilustrado usando um jogo envolvendo dois conjuntos de 6 fichas numeradas (de 1 até 6) e 2 dados. O jogo é jogado por dois alunos, cada

um cuidando de um conjunto de fichas e de um dado. As fichas são colocadas em lados opostos de uma linha divisória. Quando o dado é jogado, o jogador pega a sua ficha com o número correspondente ao número do resultado do dado e troca com a mesma ficha do outro jogador. O resultado é que as fichas são misturadas aleatoriamente. Depois dos dados serem jogados algumas vezes, pede-se aos alunos para notarem a arrumação das fichas. Eles vêem que só há uma maneira de as fichas estarem perfeitamente separadas, mas muitas maneiras de elas estarem misturadas. Relacionado com reações químicas, esses jogos ilustram o ponto de que “o evento mais provável é aquele que ocorrerá”, e, especificamente relacionado com energia, ilustra que os “pacotes” ou quanta de energia tendem a se difundir.

O ensino sobre combustíveis para alunos com menos de 16 anos também deve ser mudado. Devemos focalizar no princípio do sistema combustível-oxigênio, ao invés de no de combustível sozinho. A frase “combustíveis são depósitos de energia” deve ser removida do nosso vocabulário. Os biólogos contribuem para esses problemas com a tendência de dizer que “ATP tem uma alta ligação de energia que é quebrada, e libera energia”. Colegas precisam trabalhar juntos para encontrar uma linguagem apropriada para isso. Além disso, precisamos ajudar os alunos a focalizar a energia sendo requerida para quebrar ligações químicas. Uma abordagem que eu tenho usado para ajudar é “assassinato de moléculas”. Quando introduzidos na termodinâmica, muitos alunos realizam uma experiência que envolve a queima de combustíveis líquidos, o aquecimento de água e o cálculo de mudanças errôneas de energia. Essa é uma boa experiência em muitos aspectos, mas para aproveitar ao máximo isso, eu sugiro usar combustíveis que sejam relacionados, como os álcoois, ao invés de comparar, digamos, hexano e etanol. Usar uma seqüência permite que os alunos pratiquem eficazmente o “assassinato de moléculas”. Para fazer isso, os alunos são divididos em dois grupos. É fornecido um combustível diferente para cada grupo, apesar de muitas vezes, em uma turma grande, talvez ser necessário repetir o combustível. Ou antes, ou depois da experiência, pede-se que os próprios alunos nomeiem seu combustível e façam o modelo de uma molécula. Então, eles têm que calcular o que acontece quando a molécula do combustível queima. Serão feitos modelos de moléculas de oxigênio. Então, eles se dão conta de que para que qualquer coisa aconteça, a molécula do combustível e as moléculas de oxigênio precisam estar separadas. Isso soa um pouco cruel, mas eu incentivo os alunos a colocarem muita energia em “assassinar as suas moléculas especiais”, ou seja, em rasgar o modelo em quantas partes for possível. Isso ajuda a chegar ao ponto de que é necessária energia para quebrar ligações. Dizemos que, de fato, ligações do mesmo tipo requerem (dentro dos limites) a mesma quantidade de energia para quebrar. Isso faz sentido. Quando todos os átomos estão separados, novas ligações podem formar. Assim, a pergunta natural é “Se colocarmos energia na quebra de ligações, o que deve

ocorrer quando elas se formarem?”. Apesar de não conseguirmos “ver” a energia liberada na construção de novos modelos, os alunos pegam a idéia da formação de ligação ser um processo reverso, e, então, se dão conta de que isso envolve liberação de energia. Cálculos precisos podem ser realizados usando uma simples folha de cálculo, que reforça o ponto de que combustão é sempre exotérmica.

Terceiro, precisamos rever o ensino sobre formação de ligações iônicas. No ensino de termodinâmica, especificamente sobre Lei de Hess, nós focamos, quase inteiramente, em moléculas covalentes, e, em particular, sistemas combustível-oxigênio. Ao ensinar ligações iônicas, usamos os ciclos de Born-Haber, mas não fazemos relação com a Lei de Hess. Esses conceitos são apresentados para os alunos como duas coisas distintas. Para ajudar a reforçar o ponto de que fazer ligações é exotérmico, nós precisamos abordar o ensino desses tipos de ligações e as aplicações de idéias de termodinâmica de uma forma muito mais consistente do que tradicionalmente é feito atualmente.

11. Os conceitos dos alunos sobre equilíbrios químicos

Um padrão tradicional de ensino para equilíbrios químicos sugere que alunos com menos de 16 anos sejam introduzidos em reações “bidirecionais” tratadas qualitativamente, enquanto que idéias mais complexas, tais como cálculos de constante de equilíbrio e o significado para essas características sejam introduzidas em cursos para alunos com mais de 16 anos. O princípio de L^ê Chatelier (LCP) é comumente introduzido nesse último estágio para ajudar os alunos a prever a direção da mudança na posição de equilíbrio. As idéias associadas com equilíbrios químicos são normalmente consideradas como estando entre as mais difíceis de ensinar e aprender em cursos de química pré-universitários. Assim, talvez não seja de surpreender que esse tópico tenha recebido atenção extensiva de pesquisadores ávidos em explorar o desenvolvimento do raciocínio dos alunos sobre os conceitos-chave envolvidos. Os pontos-chave são revisados aqui.

11.1 Questões sobre o aprendizado de equilíbrios químicos

11.1.1 Um equilíbrio “dinâmico”

O princípio mais básico que os alunos precisam entender é que uma posição de equilíbrio implica uma troca de moléculas entre dois “lados” na mesma velocidade. Os “lados” podem ser duas fases, como a distribuição de moléculas de iodo entre água e hexano, ou duas reações, como ocorre na formação de amoníaco. A natureza dinâmica não pode ser vista, mas está implícita nas transformações químicas.

Maskill e Cachapuz (1989) usaram um teste de associação de palavras (WAT) para investigar as respostas intuitivas dos alunos à declaração “as reações estavam em equilíbrio”. Cerca de 76% dos alunos entre 14 e 15 anos de idade, que não haviam estudado equilíbrio, associaram fortemente essa declaração com “estático” e “balanço”. Uma pequena mudança foi observada depois desses alunos serem ensinados sobre o assunto, conforme mostram as respostas dos alunos:

“...a reação terminou, está estável, não reagirá novamente, a menos que você adicione alguma coisa...” (p.67)

Gorodesky e Gussarsky (1986, 1990) encontraram raciocínio similar entre alunos com 17 e 18 anos. Em estudo anterior, usaram testes de associação de palavras junto com um teste aplicado por um professor. Eles concluíram que somente os mais bem sucedidos no teste quebraram a relação entre “dinâmico” e “estático”, para fazer associações entre “dinâmico”, “equilíbrio químico” e “reversibilidade”. O trabalho posterior dos autores explorou o impacto de uma seqüência de ensino no raciocínio dos alunos, comparando um grupo que não recebeu nenhum ensino com dois grupos que receberam ensino em diferentes níveis. Os resultados indicaram que o ensino ajudou os alunos a estabelecerem relações entre “equilíbrio” e “equilíbrio químico”, mas também um leve aumento na associação de “estático” e “estado de balanço” para ambos os termos anteriores. Esses dados sugerem que a noção de uma reação em que está ocorrendo mudança não-observável continuada vai de encontro à intuição. Assim, muitos alunos acham isso difícil.

11.1.2 Uma reação de equilíbrio envolve duas reações separadas

Químicos experientes consideram reações inversas e reações diretas parte do mesmo sistema químico. Evidências sugerem que os alunos não conseguem fazer isso, mas vêem as duas reações como transformações separadas e independentes. Evidências anteriores vêm de estudos realizados por Johnstone et al (1977) que relata que 80% dos 255 alunos entre 16 e 17 anos têm essa visão. Esses pesquisadores sugerem que a flecha dupla usada nas reações de equilíbrio contribui para a percepção bilateral dos alunos. Uma flecha, usada em uma reação que vai terminar ou está perto de terminar enfatiza uma reação; então, duas flechas implicam duas reações separadas.

Evidências mais recentes para esse raciocínio vêm dos estudos realizados por Gorodetsky e Gussarsky (1986), que encontraram raciocínios similares entre cerca de 1/3 dos químicos entre

17 e 18 anos de idade; dos testes de associação de palavras de Cachapuz e Maskill (1989), usados com alunos entre 14/15 anos de idade; e os estudos de Banks (1997), que pesquisou o entendimento em desenvolvimento de um pequeno grupo de químicos com mais de 16 anos durante o curso de química de nível A.

11.1.3 Problemas com o Princípio de Lê Chatelier

Em 1888 Henri Lê Chatelier planejou uma declaração resumida que poderia ajudar os químicos a fazer predições qualitativas sobre mudanças em posições de equilíbrio:

“Se um sistema está em equilíbrio e uma mudança é feita em qualquer uma das condições, então o sistema responde por agir contra a mudança tanto quanto possível” (Burton, et al, 1994, p. 137)

Muitos pesquisadores têm sondado as habilidades dos alunos de aplicar o princípio de Lê Chatelier em situações em que reagentes adicionais são adicionados a um sistema fechado. Hackling e Garnett (1985) concluíram que, apesar de cerca de 40% dos alunos de 17 anos conseguirem aplicar o raciocínio esperado, uma concepção errônea comum era a de tratar todas as substâncias na reação de maneira independente, ao invés de visualizar interações entre elas. Bergquist e Heikkinen (1990) relatam alguns alunos de química de 19 anos usando um modelo “oscilante”, sugerindo que quando uma mudança ocorre, outra deve ocorrer imediatamente, porque a primeira posição alterou. Elas relatam, sem porcentagens precisas, que uma idéia comum era a noção do equilíbrio ser restabelecido somente quando todos os reagentes adicionais fossem consumidos. Essas idéias refletem os alunos aplicando um modelo de “duas reações” para equilíbrio químico – nesse último caso, se um reagente foi adicionado, então a reação direta continuaria a consumir o material extra, enquanto a reação inversa permanecia inalterada.

As limitações do princípio de Lê Chatelier também apresentam problemas. Wheeler e Kass (1978) notaram que 95% dos 95 alunos de química entre 17 e 18 anos usavam o princípio de Lê Chatelier de maneira errada, não se dando conta de que esse princípio não pode ser aplicado em todas as situações. Quilez e Solaz-Portoles (1995) estudaram respostas de 65 professores e 170 alunos para cinco situações em que o princípio de Lê Chatelier não se aplicava. Entre 70 e 90% dos alunos e cerca de 70% dos professores usaram o princípio de Lê Chatelier para responder às perguntas, resultando, freqüentemente, em predições incorretas.

11.1.4 Calculando e utilizando constantes de equilíbrio

O valor de K indica a extensão de uma reação e é calculado pela aplicação da Lei do Equilíbrio. Quanto maior o valor de K , mais completa é a reação. K é constante para uma reação específica, a uma temperatura definida. Diversos estudos revelam as dificuldades dos alunos com essas idéias.

Uma dificuldade relatada por Hackling e Garnett (1985) é a de que cerca de 50% dos alunos com 17 anos pensam que há uma relação aritmética simples entre as concentrações das reações e os produtos em equilíbrio, mais comumente, que essas são iguais. Os autores sugerem que:

“Essa concepção errônea provavelmente pode ser atribuída à ênfase considerável dada a reações estequiométricas nos tópicos químicos iniciais.” (p.211)

Os alunos estarão cientes de que equações químicas devem ser “balanceadas” e eles vão transferir essa idéia quando considerarem uma posição de equilíbrio.

Uma segunda dificuldade, dada por cerca de 20% dos alunos no mesmo estudo, é a de que K aumenta quando o equilíbrio é restabelecido após mudar a concentração de um reagente. Os alunos argumentaram que isso resultaria em mais produto e, portanto, um valor mais alto.

Terceiro: Kackling e Garnett e Gorodetsky e Gussarsky (1986) descobriram que muitos alunos não levavam em conta o efeito da temperatura em K , demonstrando uma falta de habilidade para julgar quando K é constante, ou quando e como K muda. As proporções expressando essas idéias diminuíram após aulas sobre esse tema. Um estudo de pequena escala, usando cursos de química que levam em conta o contexto, Banks (1997) revelou uma pequena mudança no raciocínio dos alunos sobre K , sendo que muitos ainda estavam incertos sobre quando K mudou.

11.1.5 Confundindo velocidade e equilíbrio químico

Em equilíbrio, as velocidades das reações inversas e diretas são iguais, resultando na posição dinâmica “sem mudança total”. Apesar de parecer um tanto direto, a literatura revela inúmeras maneiras em que os alunos confundem velocidade da reação com idéias sobre equilíbrio químico.

O estudo pós-ensino de Hackling e Garnett (1985) com trinta alunos de química de 17 anos de idade revelou que cerca de 25% dos alunos pensavam que a velocidade da reação

direta aumentaria a partir do momento em que os reagentes fossem misturados até momento em que o equilíbrio fosse estabelecido. Isso talvez reflita a percepção de que as reações diretas e inversas são eventos separados.

Cachapuz e Maskill (1989) e Hackling e Garnett (1985) encontraram alunos que consideram que concentrações de reagentes e produtos são iguais em equilíbrio. Esses alunos podem estar confundindo diretamente igualdade de velocidade e concentração.

Em terceiro lugar, Hackling e Garnett relataram que cerca de 50% dos alunos acham que mudar as condições resulta em um aumento na velocidade da reação favorecida e um decréscimo na velocidade da outra reação. Banerjee (1991) encontrou raciocínios similares entre 35% dos alunos universitários e 49% dos professores de química. Alguns alunos (27%) estenderam isso para o papel dos catalisadores, sugerindo que as velocidades das reações inversas e diretas seriam afetadas diferentemente, uma descoberta que foi corroborada por Gorodetsky e Gussarsky (1986).

Finalmente, Banerjee relata (sem números) que tanto os alunos de química universitários quanto professores do ensino médio tendem a associar um alto valor de K com uma reação muito rápida.

11.2 Implicações para o ensino

As experiências de química do “dia-a-dia” dos alunos contribuem para o problema que eles passam com equilíbrio químico. Eles vêem reações que, para eles, vão terminar, e eles não são incentivados a pensar que a reação inversa talvez esteja ocorrendo. Isso talvez não surpreenda, visto que até a idade de 16 anos, conforme indicado em seções anteriores, os alunos têm desenvolvido de forma muito fraca as idéias sobre mudança química, conservação de energia e massa e idéias sobre partículas. Em cursos para alunos com menos de 16 anos, também tendemos a escolher reações químicas que mais servem para nossos propósitos de ser relativamente fácil de seguir em termos de representação, como equações químicas, cores de medida, temperatura ou produção de gás e aqueles que ocorrem em uma escala de tempo para preencher a duração de uma aula média.

Hackling e Garnett (1985) sugerem que a confusão dos alunos entre velocidades e equilíbrio se ajusta a esse padrão. Por exemplo, quando uma fita de magnésio dissolve em ácido clorídrico, a reação parece acelerar visto que o metal é revestido com uma camada de óxido que deve ser dissolvida primeiro, antes do metal e do ácido poderem reagir. Os alunos não perceberão a camada de óxido, mas observarão que a reação se torna mais vigorosa com o tempo. A reação entre carbonato de cálcio e ácido clorídrico é normalmente usada em

experiências de velocidade. A produção e emissão do gás dióxido de carbono proíbe a reação inversa. Assim, os alunos são levados a pensar que as reações são reações unidirecionais.

O princípio de L^ê Chatelier é amplamente ensinado em cursos para alunos com mais de 16 anos, tendendo a se tornar um ritual usado nas respostas para todas as perguntas em equilíbrios. Testes na Inglaterra têm incluído perguntas usando o princípio de L^ê Chatelier em cursos de nível A, contribuindo para o predomínio dessa abordagem ao se considerar problemas de equilíbrio. O resultado é que os alunos não estão aptos para usar nenhum outro tipo de raciocínio, em particular a partir de perspectivas termodinâmicas. Assim, eles talvez concluam seus estudos com raciocínios errôneos.

A idéia básica de um equilíbrio dinâmico depende do aluno ter um modelo de partículas que funcione para mudanças químicas. Discussão prévia indica que isso talvez esteja em processo de desenvolvimento, principalmente entre alunos de química que são adolescentes. A persistência de uma visão contínua da matéria apresenta um sério obstáculo em relação ao entendimento correto de idéias sobre equilíbrio químico.

11.3 Sugestões para o progresso no ensino

O ensino para alunos com menos de 16 anos precisa apresentar aos alunos uma variedade mais ampla de reações do que normalmente é demonstrado. Não deveríamos ficar com medo de mostrar situações que não encontrem nem esperem “normas”, mas ao invés disso deveríamos usar essas normas para desafiar o raciocínio e promover uma perspectiva mais ampla em transformações químicas do que as reações unidirecionais permitem no uso comum. Demonstrações de reações “não-usuais” poderiam formar parte de uma seqüência de ensino designada para desafiar as percepções dos alunos de mudanças químicas, encorajando-os a aceitar um equilíbrio ocorrendo de uma maneira qualitativa.

A aplicação muito difundida do Princípio de Le Châtelier em cursos de química para alunos com mais de 16 anos merece ser contestada e substituída por uma abordagem muito mais clara, mais precisa e, essencialmente, mais honesta, que considera os problemas sobre equilíbrio. Banerjee (1991) está certo quando ele recomenda ensinar as leis de van't Hoff que são baseadas em termodinâmica, ao que eu adicionaria o uso das Leis do Equilíbrio. O Princípio de Le Châtelier deveria ser considerado como redundante – ele é desnecessário e não contribui para ajudar. No entanto, antes de considerar o princípio de Le Châtelier ao equivalente químico de pó, eu devo relatar os resultados dos estudos de Treagust e Graeber (1999), comparando duas abordagens diferentes para ensinar equilíbrio. Foram comparados os efeitos no aprendizado dos alunos da abordagem Australiana que enfatiza o princípio de Le Châtelier e avalia o ensino de reação usando analogias e a abordagem Alemã que usa a lei do

equilíbrio e analogias somente em lições finais de uma seqüência de ensino. Os resultados não apresentaram diferenças significativas.

As dificuldades dos alunos com a constante de equilíbrio merecem atenção. Há uma necessidade de estabelecer a relação matemática entre o valor de K e as concentrações dos reagentes e produtos. Os alunos precisam fazer experiências com imagens para ver por eles mesmos que mudança nas concentrações não resulta em mudança no valor de K . Uma vez que isso está firmemente estabelecido, os alunos, então, precisam descobrir porque a temperatura afeta o valor de K , mas a mudança nas concentrações não. Os professores precisam introduzir e explicar os efeitos da mudança de temperatura em relação à mudança de entalpia para a reação, mas devem impedir os alunos de adicionarem idéias de velocidade. Estar ciente de que isso pode acontecer vai ajudar os professores a serem cautelosos e cuidadosos no uso da linguagem.

Voska e Heikkinen (2000) criaram um “Teste para Identificar as Conceitualizações dos alunos” (TICA) sobre aspectos de equilíbrio químico, especificamente, a aplicação do princípio de Le Châtelier, a constância da constante de equilíbrio e o efeito de um catalisador. O teste adota uma abordagem de múltipla escolha em duas colunas. Os autores sugerem que apesar de perguntas de respostas livres poderem atingir o raciocínio dos alunos mais precisamente, os testes de múltipla escolha permitem aos professores identificar uma variedade de concepções espontâneas que requerem tratamento (p.171). Apesar das limitações dos alunos, testes de diagnósticos podem ser úteis para determinar a base dos alunos, o progresso deles e a mudança no raciocínio depois de aulas específicas.

12. Discussão

Aqui, minha intenção é juntar alguns pontos que foram considerados nas seções anteriores e fazer sugestões para trabalhos futuros. Eu discutirei diversos assuntos: a dificuldade e a importância de ir “além das aparências”; a necessidade de um ensino básico muito bom para alunos com menos de 16 anos; a importância para o desenvolvimento de habilidades matemáticas e as possibilidades para pesquisas futuras.

Eu coloquei o título desse relatório de “Além das aparências” porque essa é a maneira como os químicos abordam o mundo: em termos de partículas que não são vistas e que constituem substância que nós precisamos e usamos todos os dias. Isso é tão instintivo para um químico que ele/ela não consegue “não ver” partículas. Um químico profissional que eu conheci recentemente me mostrou a sua tese de PhD que descrevia como ele, pessoalmente, tinha criado uma nova classe de compostos por reformular 80 novas moléculas organometálicas. Isso era seu trabalho, sua vida, sua obsessão. Os alunos na escola não conseguem dividir essa obsessão porque eles não possuem “visão molecular”. Argumentos

similares se aplicam para entender energia – “ver” a energia dissipada em formas não-úteis é a chave para aceitar a Primeira Lei da Termodinâmica. Esses pontos são fundamentais para o entendimento genuíno de química, mas, como essa revisão mostra, são problemáticos, e eu acredito que tem conseqüências para a nossa disciplina que é seriamente subestimada. Quando os alunos não conseguem “ver” as partículas, eles não conseguem entender plenamente as reações químicas, e, então, a estrutura da química está perdida para eles em uma neblina de transformações impenetráveis que está em conflito completo com as experiências do dia-a-dia deles de um mundo “contínuo”. Talvez, o melhor que muitos alunos possam esperar é que seus professores apresentem o tópico de uma forma relativamente interessante, permitindo o aprendizado de certos fatos e padrões de comportamentos químicos. Apesar de isso suscitar alguns químicos profissionais a suprir as nossas necessidades para o futuro, muitos alunos expressam não estarem satisfeitos com o assunto conforme sugere o recente relatório de Osborne e Collins (2000). Requer-se ação. Eu não posso fingir que eu tenho as respostas, mas a minha intenção ao escrever esse relatório é fazer uma contribuição para começar (ou continuar) um debate sobre como agir.

Um grande número de referências têm sido feitas para estratégias de ensino no aprendizado de química para alunos com menos de 16 anos. Eu vou fazer duas colocações sobre isso. Primeiro, eu aceito plenamente que a entrega das exigências do Currículo Nacional é um primeiro objetivo dos professores ingleses para alunos com menos de 16 anos. Assim, o que é apresentado em aulas de química reflete o conteúdo prescrito. Além disso, muitos comentários sobre como nós ensinamos esses tópicos em cursos para alunos com menos de 16 anos aplica-se a todos nós – eu lembro claramente de dar aulas, envolvendo alunos compilando uma tabela e comparando os pontos de ebulição e as estruturas de compostos iônicos e covalentes, e ensinar ligações iônicas de uma forma que poderia gerar uma “estrutura molecular”. Essa é simplesmente a maneira como as coisas têm sido feitas até agora. Minha segunda colocação é que nós devemos considerar as pesquisas sobre concepções espontâneas e começar novas abordagens. O restante da discussão está em o que isso pode significar.

As evidências indicam que uma das razões para o impacto do ensino atual para alunos com menos de 16 anos é que os alunos acham muito difícil de “desaprender” um conceito. Há muitas referências através desse relatório que sugerem que as primeiras experiências de química dos alunos têm efeitos muito significativos e influentes, normalmente influenciando, no mínimo, o trabalho deles no nível A. Taber (1997a) refletiu sobre isso, notando que os alunos parecem nunca dismantelar conceitos antigos sobre ligações químicas, mas ao invés disso preferem adicionar novos raciocínios. Nós também vemos evidências disso no aprendizado sobre combustíveis e ligações de hidrogênio. Claro que para muitos alunos, isso

resulta em confusão e em um entendimento pobre. Por isso, o desafio para os professores é desenvolver maneiras de ensinar os princípios bem básicos, como teoria de partículas e mudanças químicas, muito bem. Por “muito bem” quero dizer meios que não “deslizem na superfície” do raciocínio dos alunos, mas meios que forneçam desafios intelectuais para ajudar a desenvolver a “visão molecular” necessária para um estudo mais profundo. Se os alunos não podem desaprender uma idéia, então nós deveríamos ensinar a química que nós realmente queremos que eles aprendam desde o começo. O compromisso da atual posição de um “ensino mais brando” que envolve mais persuasão está provando ser sem resultados.

Nós também precisamos considerar um outro ponto mais seriamente do que estamos considerando atualmente. Ou seja, os conceitos químicos parecem dividir-se ordenadamente naqueles conceitos que poderíamos chamar de “qualitativos” e aqueles chamados “quantitativos”. Por conceitos “qualitativos” eu quero dizer aqueles que não requerem habilidades adicionais do sujeito, particularmente habilidades matemáticas. Nessa categoria, eu colocaria a teoria de partículas, mudanças de estado, mudança química (incluindo ácidos e bases e elementos, compostos e misturas) e ligações químicas. Esses tópicos podem ser ensinados sem recorrer a habilidades matemáticas além de serem os processos mais simples. Conceitos “quantitativos” usam habilidades matemáticas de ordem mais elevada, tais como proporção e razão, logaritmos e probabilidade. A minha questão é que além de ensinar os conceitos qualitativos básicos de forma apropriada, nós também devemos nos certificar de que os alunos têm as habilidades necessárias, fora da área da química, para enfrentar as exigências feitas pelas áreas quantitativas. Eu estou ciente de que “matemática para químicos” e livros de cálculo são cada vez mais suprimidos abundantes, mas eu também me preocupo sobre a amplitude com a qual compreendemos quão significativa realmente é a luta dos alunos com matemática em química. Então, para ensinar conceitos básicos de forma apropriada, eu também acrescentaria uma necessidade de desenvolver as habilidades dos alunos em lidar com aspectos matemáticos de maneira muito cuidadosa e completa.

Finalmente, eu gostaria de indicar possíveis áreas para trabalhos futuros. Esse relatório revela que certas áreas conceituais têm recebido um tratamento extensivo por parte dos pesquisadores, enquanto outras são relativamente estéreis, e ainda outras, como áreas que envolvem aspectos de química orgânica e inorgânica, estão intocáveis. É necessário montar uma “coleção” de concepções errôneas existentes. Segundo, a fim de melhorar nosso ensino atual, há uma necessidade de estabelecer nos mínimos detalhes *o que os professores realmente fazem* ao ensinar esses conceitos. Eu estou bem consciente, visto que conheço professores de química, que há algumas preciosidades entre estratégias usadas para ensinar certos conceitos. Nós podemos fazer muito mais para dividir isso, desenvolvê-las e ajudar novos professores a

aprendê-las. Terceiro, eu recomendaria um trabalho mais profundo no desenvolvimento de testes de diagnóstico para ajudar a determinar o progresso do aluno no aprendizado. Acima, inúmeras referências de testes desenvolvidos por pesquisadores foram dadas. O valor deles está em intensificar a consciência dos professores com respeito aos problemas com aprendizagem, ajudando a prevenir “deslizar na superfície”, mas, ao invés disso, manter um trabalho desafiador intelectualmente. Encaixar isso na prática do dia-a-dia poderia ser benéfico.

Esse relatório abrange uma extensa revisão de pesquisa sobre concepções errôneas de química junto com a minha visão pessoal sobre as implicações que isso tem para o ensino e sugestões para progresso. Eu espero que os leitores tenham sido desafiados a considerar como podemos implementar as mudanças necessárias, a fim de ajudar mais alunos a irem “Além das Aparências”.

References

- Abraham, M.R. and Wilkinson, V.M. (1994) *A cross-age study of the understanding of five chemistry concepts* Journal of Research in Science Teaching 31 (2) 147 – 165
- Ahtee, M. and Varjola, I. (1998) *Students' understanding of chemical reaction* International Journal of Science Education 20 (3): 305 – 316
- Andersson, B. (1984) *Chemical reactions* Report: Elevperspektiv number 12 Göteborg: University of Göteborg
- Andersson, B. (1986) *Pupils' explanations of some aspects of chemical reactions* Science Education 70: 549 – 563
- Andersson, B. (1990) *Pupils' conceptions of matter and its transformations (Age 12-16)* Studies in Science Education 18: 53 – 85
- Atkins, P. (1989) *General Chemistry* London: Freeman
- Banks, P. J. (1997) *Students' understanding of chemical equilibrium* Unpublished MA thesis, Department of Educational Studies, University of York
- Banerjee, A. (1991) *Misconceptions of students and teachers in chemical equilibrium* International Journal of Science Education 13 (3) 355-362
- Bar, V. and Galili, I. (1994) *Stages of children's views about evaporation* International Journal of Science Education 16 (2) 157 – 174
- Bar, V. and Travis, A.S. (1991) *Children's views concerning phase changes* Journal of Research in Science Teaching 28 (4): 363-382
- Barker, V. (1990) *Children's understanding of the kinetic particle theory* Unpublished MA dissertation: University of London
- Barker, V. (1995) *A longitudinal study of 16-18 year olds' understanding of basic chemical ideas* unpublished D.Phil. thesis, Department of Educational Studies, University of York
- Barker, V. and Millar, R. (1999) *Students' reasoning about chemical reactions: what changes occur during a context-based post-16 chemistry course?* International Journal of Science Education 21 (6) 645-665
- Barker, V. and Millar, R. (2000) *Students' reasoning about thermodynamics and chemical bonding: What changes occur during a context-based post-16 chemistry course?* Accepted for publication in International Journal of Science Education, 2000
- Ben-Zvi, R., Eylon, B-S and Silberstein, J. (1986) *Is an atom of copper malleable?* Journal of Chemical Education 63: 64-66
- Ben-Zvi, R., Eylon, B. Silberstein, J. (1987) *Students' visualisation of chemical reactions* Education in Chemistry 24:117-120
- Benson, D.L., Wittrock, M.C. and Baur, M.E. (1993) *Students' preconceptions of the nature of gases* Journal of Research in Science Teaching 30 (6) 587 – 597

- Bergquist, W. and Heikkinen, H. (1990) *Students' ideas regarding chemical equilibrium* Journal of Chemical Education 67 (12) 1000-1003
- Beveridge, M. (1985) *The development of young children's understanding of the process of evaporation* British Journal of Educational Psychology 55: 84 – 90
- Boohan, R. and Ogborn, J. (1996) *Energy and Change* Association for Science Education: Hatfield UK
- BouJaoude, S.B. (1991) *A study of the nature of students' understandings about the concept of burning* Journal of Research in Science Teaching 28 (8) 689 – 704
- BouJaoude, S.B. and Barakat, H. (2000) *Secondary school students' difficulties with stoichiometry* School Science Review 81 (296): 91 – 98
- Briggs, H. and Holding, B. (1986) *Aspects of Secondary Students' understanding of elementary ideas in chemistry: Full Report* Children's Learning in Science Project Leeds: University of Leeds
- Brook, A., Briggs, H. and Driver, R. (1984) *Aspects of Secondary Students' understanding of the particulate nature of matter* Children's Learning in Science Project Leeds: University of Leeds
- Burton, G., Holman, J., Pilling, G. and Waddington, D. (1994) *Salters Advanced Chemistry: Chemical Ideas* Heinemann Educational Publishers: Oxford UK
- Butts, B. and Smith, R. (1987) *HSC Chemistry students' understanding of the structure and properties of molecular and ionic compounds* Research in Science Education 17:192 – 201
- Carmichael, P., Driver, R., Holding, B., Phillips, I., Twigger, D. and Watts, M. (1990) *Research on students' conceptions in science: A bibliography* Children's Learning in Science Group: University of Leeds Cosgrove and Osborne (1981)
- Cros, D., Maurin, M., Amouroux, R., Chastrette, M., Leber, J. and Fayol, M. (1986) *Conceptions of first-year university students of the constituents of matter and the notions of acids and bases* European Journal of Science Education 8 (3) 305-313
- Cros, D. and Chastrette, M. and Fayol, M. (1988) *Conceptions of second year university students of some fundamental notions in chemistry* International Journal of Science Education 10 (3) 331-336
- Carr, M. (1984) *Model confusion in chemistry* Research in Science Education 14: 97 – 103
- Cosgrove, M.R. and Osborne, R. (1981) *Physical change: A working paper of the Learning in Science Project (no. 26)* University of Waikato, Hamilton, New Zealand
- Dierks, W. (1981) *Teaching the mole* European Journal of Science Education 3: 145-158

- van Driel, J.H., de Vos, W. and Verdonk A.H. (1989) *Why do some molecules react while others don't?* Unpublished paper, University of Utrecht
- Donnelly, J.F. and Welford, A.G. (1988) *Children's performance in chemistry* Education in Chemistry 25 (1) 7 – 10
- Dow, W.M., Verdonk, A.H. and Wilson, D. (1978) *Pupils' concepts of gases liquids and solids* Dundee: Northern College of Education, Dundee campus
- Driver, R. (1983) *The pupil as scientist?* Open University Press: Milton Keynes
- Driver, R., Guesne, E. and Tiberghien, A., eds (1985) *Children's Ideas in Science* Open University Press: Milton Keynes
- Driver, R., Squires, A., Rushworth, P. and Wood-Robinson, V. (1994) *Making sense of secondary science* Routledge and Kegan Paul: London
- Duit, R. and Kesidou, S. (1988) *Students' understanding of basic ideas of the second law of thermodynamics* Research in Science Education 18: 186 – 195
- Engel Clough, E. and Driver, R. (1986) *A study of consistency in the use of students' conceptual frameworks across different task contexts* Science Education 70 (4) 473 - 496
- Freemantle (1987) *Chemistry in Action*, 1st Edition London: Macmillan
- Gabel, D.L. (1993) *Use of the particle nature of matter in developing conceptual understanding* Journal of Chemical Education 70: 193-194
- Gabel, D.L. and Samuel, K.V. (1987) *Understanding the particulate nature of matter* Journal of Chemical Education 64 (8) 695 – 697
- Garnett, P., Garnett, P. and Hackling, M. (1995) *Students' alternative conceptions in chemistry: A review of research and implications for teaching and learning* Studies in Science Education 25: 69-95
- Gensler, W. (1970) *Physical versus chemical change* Journal of Chemical Education 47 (2) 154 – 155
- Gorodetsky, M. and Gussarsky, E. (1986) *Misconceptualisation of the chemical equilibrium concept as revealed by different evaluation methods* European Journal of Science Education 8 (4): 427-441
- Griffiths, A.K. and Preston, K.R. (1992) *Grade-12 students' misconceptions relating to fundamental characteristics of atoms and molecules* Journal of Research in Science Teaching 29 (6) 611 – 628
- Gussarsky, E. and Gorodetsky, M. (1988) *On the chemical equilibrium concept: constrained word associations and conception* Journal of Research in Science Teaching 25 (5) 319 – 333
- Gussarsky, E. and Gorodetsky, M. (1990) *On the concept "chemical equilibrium": The*

- associative framework* Journal of Research in Science Teaching 27 (3): 197 - 204
- Hackling, M.W. and Garnett, P. (1985) *Misconceptions of chemical equilibria* European Journal of Science Education 7 (2): 205 - 214
- Haidar, A.H. and Abraham, M.R. (1991) *A comparison of applied and theoretical knowledge of concepts based on the particle nature of matter* Journal of Research in Science Teaching 29: 611-628
- Hand, B.M. (1989) *Students' understanding of acids and bases: A two year study* Research in Science Education 19:133 - 144
- Hand, B. M. and Treagust, D. F. (1988) *Application of a conceptual conflict strategy to enhance student learning of acids and bases* Research in Science Education 18: 53 - 63
- Happs, J. (1980) *Particles: A working paper of the Learning in Science Project (no. 18)* University of Waikato, Hamilton, New Zealand
- Hawkes, S.J. (1992) *Arrhenius confuses students* Journal of Chemical Education 69 (7) 542 - 543
- Hayes, P. (1979) *"The naive physics manifesto"* In: Michie, D., ed. *Expert systems in the microeletronic age* Edinburgh University Press: Edinburgh
- Hesse, J.J. and Anderson, C.W. (1992) *Students' conceptions of chemical change* Journal of Research in Science Teaching 29 (3) 277 – 299
- Holding, B. (1987) *Investigation of school children's understanding of the process of dissolving with special reference to the conservation of matter and the development of atomistic ideas* Unpublished PhD thesis, University of Leeds
- Johnson, P. (1996) *What is a substance?* Education in Chemistry March 1996 p 41-45
- Johnson, P. (1998a) *Progression in children's understanding of a 'basic' particle theory: a longitudinal study* International Journal of Science Education 20 (4) 393-412
- Johnson, P. (1998b) *Children's understanding of changes of state involving the gas state, Part 1: Boiling water and the particle theory* International Journal of Science Education 20 (5) 567-583
- Johnson, P. (1998c) *Children's understanding of changes of state involving the gas state, Part 2: Evaporation and condensation below boiling point* International Journal of Science Education 20 (6) 695-709
- Johnston, K. and Driver, R. (1991) *A case study of Teaching and Learning about Particle Theory* Leeds: Centre for Studies in Science and Mathematics Education, University of Leeds
- Johnstone, A.H., Macdonald, J.J. and Webb, G. (1977) *Chemical equilibria and its conceptual difficulties* Education in Chemistry 14: 169 - 171
- Kruger, C.J. and Summers, M.K. (1989) *An investigation of some primary teachers'*

- understanding of change in materials* School Science Review vol 71 (255): 17-27
- Lazonby, J.N., Morris, J.E. and Waddington, D.J. (1982) *The muddlesome mole* Education in Chemistry July 1982 p 109 - 111
- Lee, O., Eichinger, D., Anderson, C. Berkheimer, G. and Blakeslef, T. (1993) Changing middle school students' conceptions of matter and molecules Journal of Research in Science Teaching 30: 249-270
- Loeffler P.A. (1989) *Fundamental concepts in the teaching of chemistry* Journal of Chemical Education 66 (11) 928 – 930
- Meheut, M. and Chomat, A. (1990) *The bounds of children's atomism: an attempt to make children build up a particle model of matter* In: PL. Linjse, P.Licht, W. de Vos and A.J. Waarlo (eds) *Relating Macroscopic Phenomena to Microscopic Particles: A Central Problem in Science Education* Utrecht: Centre for Science and Mathematics Education, University of Utrecht
- Maskill, R. and Cachapuz, A.F.C. (1989) *Learning about the chemistry topic of equilibrium: the use of word association tests to detect developing conceptualisations* International Journal of Science Education 11 (1): 57- 69
- Meheut, M., Saltiel, E. and Tiberghien, A. (1985) *Pupils' (11 - 12 year olds) conceptions of combustion* European Journal of Science Education 7: 83-93
- Millar, R. (1989) *What use are particle ideas to children?* Paper presented at the seminar "Relating macroscopic phenomena to microscopic particles: a central problem in secondary science education" held at the Centre for Science and Mathematics Education, University of Utrecht, 22 - 26 October, 1989
- Mitchell, A.C. and Kellington, S.H. (1982) *Learning difficulties associated with particulate theory of matter in the Scottish Integrated Science course* European Journal of Science Education 4:429-440
- Nakleh, M. (1992) *Why some students don't learn chemistry* Journal of Chemical Education 69 (3) 191 – 196
- Nelson, P. G. (1991) *The elusive mole* Education in Chemistry July 1991 p 103 - 104
- Novick, S, and Nussbaum, J. (1978) *Junior High School Pupils' understanding of the Particulate Nature of Matter: An Interview study* Science Education 62 (3) 273 - 281
- Novick, S. and Nussbaum, J. (1981) *Pupils' understanding of the particulate nature of matter: A cross-age study* Science Education 65 (2) 187 – 196
- Osborne, R. and Cosgrove M. (1983) *Children's conceptions of the changes of state of water* Journal of Research in Science Teaching 20 (9) 825 – 838
- Osborne, J. F. and Collins, S. (2000) *Pupils' views of the school science curriculum* King's College, London UK

- Pereira, M. and Elisa, M. (1991) *Pupils' representations of models of water* International Journal of Science Education 13:313-319
- Piaget, J. and Inhelder, B. (1974) *The child's construction of quantities* Routledge and Kegan Paul: London
- Prieto, T., Blanco, A. and Rodriguez, A. (1989) *The ideas of 11 to 14 year old students about the nature of solutions* International Journal of Science Education 11 (4) 451 – 463
- Peterson, R.F. (1993) *Tertiary students understanding of covalent bonding and structure concepts* Australian Journal of Chemical Education July 1993 p 11 – 15
- Peterson, R.F. and Treagust, D.F. (1989) *Grade-12 students' misconceptions of covalent bonding* Journal of Chemical Education 66 (6) 459 – 460
- Pardo, J. and Solaz-Portoles, J.J. (1995) *Students' and Teachers' misapplication of Le Chatelier's Principle: Implications of the teaching of chemical equilibrium* Journal of Research in Science Teaching 32 (9) 939-957
- Ross, K. (1987) *A cross-cultural study of people's understanding of the functioning of fuels and the process of burning* Unpublished paper, The College of St. Paul and St. Mary, Cheltenham, Glos.
- Ross, K. (1993) *There is no energy in food and fuels - but they do have fuel value* School Science Review 75 (221) 39 - 47
- Ross, B. and Munby, H. (1991) *Concept mapping and misconceptions: a study of highschool students' understandings of acids and bases* International Journal of Science Education 13 (1) 11 – 23
- Rowell, J.A. and Dawson, C.J. (1980) *Mountain or Mole hill: Can cognitive psychology reduce the dimensions of conceptual problems in classroom practice?* Science Education 64 (5) 693 – 708
- Russell, T. and Watt, D. (1990) *Evaporation and Condensation* A primary SPACE research report: University of Liverpool Press
- Russell, T., Harlen, W. and Watt, D. (1989) *Children's ideas about evaporation* International Journal of Science Education 11, Special Issue, 566 – 576
- Schollum, B. (1981a) *Chemical change: A working paper of the Learning in Science Project (no. 27)* University of Waikato, Hamilton, New Zealand
- Schollum, B. (1981b) *Burning: A working paper of the Learning in Science Project (no. 36)* University of Waikato, Hamilton, New Zealand
- Schollum, B. (1982) *Reactions: A working paper of the Learning in Science Project (no. 37)* University of Waikato, Hamilton, New Zealand
- Scott, P. (1992) *Pathways in Learning Science: a case study of the development of one student's ideas relating to the structure of matter* In: R Duit, F. Goldberg, and H.

Niedderer, H. (eds) *Research in Physics Learning: Theoretical Issues and Empirical Studies*, Kiel: University of Kiel

Sequeria, M. and Leite, L. (1990) *On relating macroscopic phenomena to microscopic particles at the junior high school level* In: PL. Linjse, P.Licht, W. de Vos and A.J. Waarlo (eds) *Relating Macroscopic Phenomena to Microscopic Particles: A Central Problem in Science Education* Utrecht: Centre for Science and Mathematics Education, University of Utrecht

Séré, M.-G. (1982) *A study of some frameworks used by pupils aged 11-13 years in the interpretation of pressure* European Journal of Science Education 4:299-309

Séré, M.-G. (1986) *Children's conceptions of the gaseous state, prior to teaching* European Journal of Science Education 8 (4) 413-425

Stavy, R. (1988) *Children's conception of gas* International Journal of Science Education 10 (5) 553 – 560

Stavy, R. (1990a) *Children's conception of changes in the state of matter: From liquid (or solid) to gas* Journal of Research in Science Teaching 27 (3) 247-266

Stavy, R. (1990b) *Pupils' problems in understanding conservation of matter* International Journal of Science Education 12 (5) 501-512

Stavy, R. and Stachel D. (1985) *Children's ideas about 'solid' and 'liquid'* European Journal of Science Education 7 (4) 407-421

Strong, L. E. (1970) *Differentiating Physical and Chemical Changes* Journal of Chemical Education 47 (10) 689-690

Taber, K.S. (1993a) *Case study of an A level student's understanding of chemical bonding: Annie* Working paper: Havering College of Further and Higher Education

Taber, K.S. (1993b) *Stability and lability in student conceptions: some evidence form a case study* Paper presented at the British Educational Research Association Annual Conference, University of Liverpool, September, 1993

Taber, K.S. (1993c) *Understanding the ionic bond: student misconceptions and implications for further learning* Paper presented at the Royal Society of Chemistry Autumn Meeting, University of Warwick, September, 1993

Taber, K.S. (1994) *Misunderstanding the ionic bond* Education in Chemistry 31 (4) 100 -103

Taber, K.S. (1996) *The secret life of the chemical bond: students' anthropomorphic and animistic references to bonding* International Journal of Science Education 18 (5) 557-568

Taber, K.S. (1997a) *Understanding chemical bonding* unpublished PhD thesis, Faculty of Education, Roehampton Institute University of Surrey

Taber, K.S. (1997b) *Student understanding of ionic bonding: molecular versus*

electrostatic framework? School Science Review June 1997 78 (285) 85 - 95

Taber, K.S. (1998) *The sharing out of nuclear attraction: or 'I can't think about physics in chemistry'* International Journal of Science Education 20 (8) 1001-1014

Tan, K-C. D. and Treagust, D.F. (1999) *Evaluating students' understanding of chemical bonding* School Science Review September 1999 81 (294)

Treagust, D. F. and Graeber, W. (1999) *Teaching approaches and learning outcomes for "Chemistry equilibrium" in senior high school in Australia and Germany* in: Proceedings of the Second International Conference of the European Science Education Research Association volume 2 p 605-607 eds: Komorek, M., Behrendt, H., Dahncke, H., Duit, R., Graeber, W. and Kross, A. University of Kiel, Germany

Tytler, R. (1998) *Children's conceptions of air pressure: exploring the nature of conceptual change* International Journal of Science Education 20 (8) 929-958

Vogelezang, M.J. (1987) *Development of the concept 'chemical substance' - some thoughts and arguments* International Journal of Science Education 7 (5) 519 – 528

de Vos and Verdonk (1985a) *A new road to reactions part 1.* Journal of Chemical Education 62:238-240

de Vos and Verdonk (1985b) *A new road to reaction part 2* Journal of Chemical Education 62: 648-649

de Vos and Verdonk (1986) *A new road to reaction part 3: Teaching the heat effect of reactions* Journal of Chemical Education 63: 972-974

de Vos and Verdonk (1987a) *A new road to reactions part 4: The substance and its molecules* Journal of Chemical Education 64:692-694

de Vos and Verdonk (1987b) *A new road to reactions part 5: The elements and its atoms* Journal of Chemical Education 64: 1010-1013

Wandersee, J.H., Mintzes, J.J. and Novak, J.D. (1994) *Research on alternative conceptions in science* In: D. Gabel, (ed) *Handbook of Research on Science Teaching and Learning* New York: Macmillan p 177- 210

Watson, R.J., Prieto, T. and Dillon, J. S. (1997) *Consistency of students' explanations about combustion* Science Education 81:425-444

Wheeler, A.E. and Kass, H. (1978) *Student misconceptions in chemical equilibrium* Science Education 62 (2) 223 – 232

Westbrook, S.L. and Marek, E.D. (1991) *A cross-age study of student understanding of the concept of diffusion* Journal of Research in Science Teaching 28: 649-660