

PIAGET PARA QUÍMICOS

Explicando o que "bons" estudantes não podem entender¹

J. Dudley Herron

É evidente que qualquer um que tenha ensinado para iniciantes na universidade que um número considerável de estudantes - particularmente aqueles de cursos não-científicos - acham o assunto difícil e, em alguns casos, incompreensível. Infelizmente, o fato desses estudantes terem tais dificuldades é muito mais aparente do que a causa dessa dificuldade. Esse texto apresenta uma hipótese sobre a causa da dificuldade e sugere modificações em nossa abordagem para o ensino de química o que deve fundamentalmente conduzir a uma melhor instrução para muitos estudantes.

A tese a ser desenvolvida é que a evidência disponível sugere fortemente que um número substancial de estudantes que ingressam na universidade - talvez da ordem de 50% em cursos não-científicos - são incapazes de operar no nível intelectual que é descrito por Piaget como operacional formal. No entanto, o conteúdo de química e a abordagem que normalmente damos ao ensino de química requer que o estudante opere nesse nível operacional formal para que eles compreendam os conceitos que são apresentados.

Antes de discutir o que se quer dizer por pensamento operacional formal, relatarei alguns pequenos casos para ilustrar o tipo de dificuldades que acredito que estejam relacionadas com essa discussão.

O primeiro incidente que irei relatar ocorreu durante a discussão de um experimento de eletrólise. A questão que eu tinha apresentado era como podíamos ter certeza de que os gases saíram da água e não do carbonato de sódio que tínhamos usado como eletrólise. Afinal, não tínhamos produzido gás até que adicionássemos o eletrólito; por que não supor que o eletrólito é a fonte do gás? No meio da discussão um estudante deu-me um olhar muito estranho e disse: "Você quer dizer que a água está 'desaparecendo' e que está se transformando naqueles gases que não se pode nem ao menos ver! É isso que você quer dizer com os gases vindo da água? Eu não acredito nisso! Simplesmente não é possível! Água não tem nada a ver com aqueles gases." O segundo incidente ocorreu durante a metade do segundo semestre do curso de economia doméstica. Eu havia dado um exame e aqueles que tiveram notas baixas vieram ao meu encontro. Tentei descobrir o que estava errado. Perguntei-lhes questões tais como: "Apenas digam-me com suas próprias palavras, qual é a diferença no que representamos por H^+ , H e H_2 ?" Alguns poucos atribuíram o nome de íon, átomo e molécula aos três, mas nenhum dos estudantes que vieram parecia ter qualquer concepção da diferença das partículas representadas. "Olhem", eu disse; "Digam-

¹ HERRON, J. Dudley. Piaget for chemists - explaining what "good" students cannot understand. *Journal of Chemical Education*, Easton, v.52, n.3, p.146-150, mar.1975. tradução: Prof. Antonio Sergio K Milagre

me o que está sentença química está dizendo: $\text{CH}_4 + 2 \text{O}_2 \rightarrow \text{CO}_2 + 2 \text{H}_2\text{O}$." A maioria dos estudantes não tinha idéia. No exame final do curso, menos de 50% dos estudantes pareciam compreender que era o Cl^- que estava no sal de cozinha e não o Cl_2 - ou que havia uma diferença entre os dois.

O terceiro 'incidente' é uma observação geral mais do que um evento específico. Ao longo dos anos observei que qualquer conceito que envolve 'razão' é extremamente difícil para muitos estudantes; densidade, velocidade, aceleração, moralidade e velocidade de reação são alguns desses conceitos. Os estudantes são capazes de memorizar um algoritmo para realizar cálculos numéricos destas grandezas, mas parecem ter uma pobreza de compreensão tal da idéia que são incapazes de aplicar o conceito para qualquer problema diferente daqueles analisados e discutidos em aula. Por exemplo, estudantes que aprenderam a calcular densidade a partir de dados de massa e volume são freqüentemente incapazes de responder questões simples tais como: "água possui densidade menor que a do ácido sulfúrico. Qual terá o maior volume, 100g de água ou 100g de ácido sulfúrico?"

Se eu pensar que os conceitos incorretos (misconcepts) - melhor ainda, não-conceitos - que eu relatei fossem devidos somente ao meu ensino inepto, não os estaria relatando. E contrariamente ao que alguns professores preferem acreditar, esses não são alunos que não se esforçam para aprender. São "bons" estudantes que fazem um esforço consciente para alcançar êxito. Mas aqueles simplesmente parecem não poder entender idéias abstratas tais como átomos, moléculas e gases ideais. Eles são "incapazes"? Acredito que sim. Mas não no sentido usual onde dizemos que uma pessoa é "incapaz" ou "estúpida". Acredito que eles são estudantes que não progrediram em seu desenvolvimento intelectual ao estágio de operações formais.

Alguns de vocês estão familiarizados com o trabalho do psicólogo suíço Jean Piaget. Para os que não estão, um resumo de três parágrafos deve ser suficiente para por as coisas em perspectiva.

Piaget descreve o desenvolvimento intelectual em termos de quatro estágios: sensório-motor; pré-operacional; operacional concreto e operacional formal. De acordo com Piaget, esperaríamos que os estudantes entrassem no estágio de operações formais de pensamento em torno dos doze anos e completassem essencialmente o desenvolvimento intelectual básico aos 15 anos. Infelizmente, evidências de vários estudos sugerem que isso não é assim. Lovell testou muitos estudantes na Inglaterra e achou que somente entre 23 e 37% de uma amostra constituída de 39 estudantes de uma escola primária, 10 estudantes da escola de treinamento e 3 adultos demonstraram o pensamento formal (1). Em estudo feito por Dale na Austrália, somente 25% dos estudantes de 15 anos em sua amostra foram capazes de resolver completamente um teste elaborado para medir o pensamento formal

(2). Um estudo a alguns anos atrás amplamente no nível operacional concreto de Piaget e que somente 25% da amostra podia ser considerada completamente formal em seu pensamento (3). Estudos de Elkind (4) e de Tower e Wheatley (5) mostraram que apenas por volta de 60% de estudantes no início da universidade testados acreditavam que o volume de uma esfera de argila permanecia constante quando a argila era enrolada na forma de uma salsicha. Implicações desses estudos tornaram-se claras quando comparamos a operação intelectual do estudante no estágio operacional concreto de desenvolvimento com aquele que é formal.

Para começar é bom ter em mente que "operações concretas são concretas relativamente falando; sua atividade de estruturação e organização é orientada em direção a eventos e coisas concretas no presente imediato" (6). O estudante operacional concreto não pensa em termos de possibilidade e não é capaz de entender conceitos abstratos que partem da realidade concreta. O estudante operacional formal, entretanto, "começa pensando em termos do que pode acontecer e visualiza todas as mudanças que são possíveis. Isso o capacita a raciocinar sem apoios visuais."(7)

Dizer que um estudante que não tenha alcançado o estágio de operações formais não possa raciocinar ou resolver problemas é equivocado. Ele pode. Mas o ponto de partida para o estudante operacional concreto é sempre o real mais do que o potencial. Seu raciocínio está sempre baseado em observações reais e está limitado a extrapolações dessas experiências sensoriais. Ele não delinea todas as possibilidades e nem pensa do observado como simplesmente um caso especial do possível.

Na medida em que até mesmo aqueles indivíduos que tenham as desenvolvidas ao nível de operações formais normalmente revertem para o pensamento operacional concreto quando se encontram com uma área não familiar, é provável que somente os exemplos dados auxiliem a clarificar as distinções a serem feitas.

Uma distinção entre o pensamento operacional concreto e o pensamento operacional formal é que o primeiro coloca-se em termos da experiência concreta, enquanto que as mesmas operações lógicas aplicadas para abstrações seriam características do pensamento operacional formal. Por exemplo, um estudante que opere no nível operacional concreto pode responder corretamente à questão: "Existem mais esferas verdes ou mais esferas de plástico?", depois de ter visto o instrutor colocar diversas esferas de plástico verde e diversas brancas numa caixa. Todavia, somente os estudantes que operam no nível formal respondem corretamente quando são inquiridos: "Algumas das moléculas em solução são azuis" - disse o professor. Um estudante respondeu: 'Então todas as 'moléculas são azuis'. Um segundo estudante comenta: 'algumas das moléculas são azuis'. Um terceiro afirma: 'Nenhuma das moléculas é azul'. Quem está certo?"

De forma similar, estudantes que operam no nível concreto podem, facilmente ordenar um grupo de bastões do menor ao maior. Todavia, quando alguém diz: "Bill é o mais alto dos três?", apenas os estudantes que iniciaram a usar operações formais podem responder corretamente.

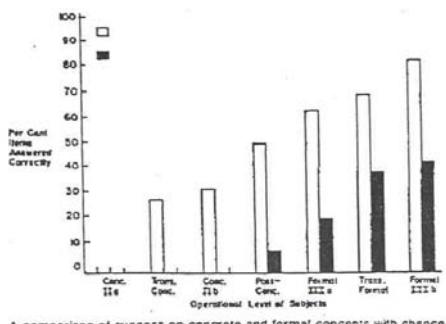
Uma vez que as operações formais sejam atingidas, os sujeitos começam a pensar em termos de possibilidades numa dada situação. Um dos testes utilizados para distinguir entre sujeitos concretos e formais envolve a apresentação de quatro garrafas numeradas contendo soluções incolores (as soluções são de ácido sulfúrico diluído, água oxigenada, água pura e tiossulfato de sódio) e uma garrafa conta-gotas contendo uma solução e etiquetada com a letra "g" (iodeto de potássio). O sujeito é então solicitado a "usar o conteúdo das garrafas numeradas para produzir uma cor amarela quando 'g' for adicionado." O procedimento seguido pelos estudantes no nível operacional concreto tende a ser o de tentativa e erro; nem todas as possibilidades de combinação são examinadas - na verdade parece que o sujeito não é capaz de identificar as combinações possíveis. Em contrapartida, o procedimento seguido por aqueles formais é sistemático; as possíveis combinações são eliminadas numa forma ordenada.

Uma terceira característica das operações formais é o reconhecimento da necessidade lógica: "Todas as outras coisas devem se manter iguais". Isso talvez possa ser ilustrado por outro teste, usado para determinar se os estudantes operam no nível operacional formal. O teste das hastes flexíveis envolve a utilização de pesos e hastes de metal que diferem no comprimento, secção transversal e na composição. O estudante é solicitado a descobrir os fatores que irão afetar com que as hastes se curvam.

Uma reação típica do concreto é a do estudante que irá pendurar pesos iguais numa haste curta e grossa e em outra comprida e fina para "provar" que "hastes finas curvam-se mais". Momentos depois ele talvez use os mesmos materiais para "provar" que "hastes mais compridas curvam-se mais". Todavia, o estudante formal "controla variáveis", isto é, ele vê a necessidade de "todas as outras coisas permanecerem iguais" antes de tirar conclusões sobre o efeito de algumas variáveis manipuladas na curvatura da haste.

Embora haja outras distinções entre pensamento concreto e formal, essas devem ser suficientes.

Baseado no modelo de Piaget do desenvolvimento intelectual, Lawson (8) sugeriu que existem certos conceitos que são compreensíveis para estudantes que ainda estejam no estágio de desenvolvimento operacional concreto enquanto outros conceitos são compreensíveis apenas por aqueles estudantes que alcançaram as operações formais.



A comparison of success on concrete and formal concepts with chance-eliminated, pooled data. Taken from Lawson (8).

Lawson mostrou que existe uma relação direta entre a aprendizagem de conceitos formais e o nível de desenvolvimento intelectual tal como é definido por Piaget. o gráfico mostra a porcentagem das questões envolvendo conceitos formais que foram respondidas por estudantes secundários em vários estágios de desenvolvimento intelectual. particularmente interessante é o fato que nenhuma questão envolvendo pensamento formal foi respondida corretamente por quaisquer estudantes que não tivessem progredido ao nível que Lawson chamou "pós-concreto" (representa um nível de transição do pensamento concreto formal). Além disso, apenas aqueles estudantes que mostraram evidências de desenvolvimento substancial do pensamento formal (além do nível III A de Piaget) foram capazes de responder em torno da metade das questões envolvendo conceitos formais (as percentagens mostradas na figura são algo mais baixas uma vez que foram corrigidas por estimativas).

Mais ainda pode-se perguntar, onde está o problema? Quanto daquilo que ensinamos em química realmente requer pensamento formal? na minha opinião, uma grande quantidade - e eu não estou sozinho. Em um artigo discutindo o nível de pensamento requerido para o êxito em várias questões de ciências, Robert Karplus comenta (9)

Eu me surpreendi quando originalmente examinei cito testes de biologia elaborados por professores e não consegui localizar quaisquer questões que, na minha opinião, solicitassem o pensamento formal... (Mas em química) achei problemas que requeriam o pensamento formal por onde eu olhasse. Tive dificuldades em localizar itens que pudessem ser resolvidos no nível concreto e não dependessem da lembrança de fatos relativos às propriedades de elementos específicos e compostos.

Sem a intenção de ser exaustivo listei exemplos de desempenhos que comumente são esperados em estudantes iniciantes em química que, na minha opinião, PODEM ser executados por estudantes que não são formais em seu pensamento e contrastei-os com desempenhos que acredito requereriam pensamento formal. Eles estão apresentados no quadro adiante.

Ao olhar para a lista que preparei, estou cada vez mais ciente que tendo a enfatizar aqueles desempenhos que se encontram no lado do NÃO PODEM FAZER. Fico muito receoso toda vez que coloco uma questão num teste que não requer nada além de uma rota de memorização. Se meu julgamento de "cadeira de braços" estiver correto, então eu poderia prever que a façanha em um curso de química lecionado por mim seria substancialmente relacionada ao nível de desenvolvimento intelectual do estudante tal como é medido nos testes de Piaget.

COMPETÊNCIAS COMUMENTE ESPERADAS DE ESTUDANTES DE QUÍMICA GERAL QUE PODEM SER COMPREENDIDAS POR ESTUDANTES QUE NÃO ESTÃO EM OPERAÇÕES FORMAIS

O que estudantes que não alcançaram operações formais PODEM FAZER

01. Qualquer mensuração ou observação rotineira.

02. Fazer inferências que são extrapolações diretas de observações, isto é "objetos de madeira queimam" como uma inferência que se segue à observação de diversos objetos de madeira que queimam.

03. Compreender a idéia que a relação entre a massa (ou volume) de hidrogênio e a do oxigênio na água é constante. (Isso deveria estar na lista do PODEM FAZER somente se a idéia for desenvolvida a partir da observação real de dados ou através de procedimento que possibilite ao estudante entender a fonte dos dados).

04. Construir curvas de resfriamento para

O que estudantes que não alcançaram operações formais NÃO PODEM FAZER

01. Mensuração de densidade, calor de reação e outras grandezas "derivadas" que não são observadas diretamente.

02. Fazer inferências que são "duas vezes afastadas" das observações, isto é, "o papel, a madeira e a gasolina todos queimam; esses são compostos de carbono; compostos de carbono queimam".

03. Raciocinar que a constância das relações de massa e volume em substâncias tais como a água leva a conclusão que compostos podem ser representados como partículas constituídas de átomos combinados em proporções definidas.

04. Explicar porque ocorre o patamar na

substâncias puras e impuras e inferir a partir do comportamento da curva de resfriamento de uma substância desconhecida se ela é pura (ou mistura eutética) ou impura.

05. A partir da descrição do comportamento de um gás usado como modelo físico (tal como o simulador dinâmico molecular) predizer efeitos do aumento de temperatura na energia cinética média e distribuição de energia entre as moléculas de um gás.

06. A partir da definição de molaridade, preparar 1000 mL de uma solução 1 M.

07. Seguir um conjunto de regras para achar a fórmula empírica de um composto.

08. Conceber o peso atômico como o peso de um dado número de moléculas, isto é o peso (massa) atômica é a massa de 602.000.000.000.000.000.000.000 átomos.

09. Usar análise dimensional para resolver problemas em situações onde as unidades fornecem uma indicação das operações a serem executadas.

10. Balancear equações, escrever fórmulas, calcular pesos moleculares, etc. usando um conjunto de regras.

curva de resfriamento de uma substância pura durante a mudança de estado.

05. A partir dos postulados da teoria cinética, predizer as condições de temperatura e pressão sob as quais gases reais não obedecerão a lei dos gases ideais.

06. A partir da definição, preparar 25 mL de uma solução 2,5M. Preparar 1000 mL de uma solução 0,25 M a partir de uma solução 3M.

07. Entender porque seguindo as regras resultará a fórmula empírica.

08. Conceber o peso atômico como a razão entre a massa de um átomo e a massa de um átomo e a massa de algum outro átomo que é escolhido como padrão.

09. Usar razões e proporções para resolver problemas que não se enquadram em um "tipo" de problema que tenha sido memorizado.

10. Derivar regras para o balanceamento de equações, escrevendo fórmulas, etc. a partir de princípios gerais tais como a lei da conservação de massa ou a lei das proporções definidas.

11. Conceber um ácido como qualquer substância que irá tornar o tornassol vermelho.
12. Demostrar que uma solução contém íons mostrando a condutividade elétrica; medir a corrente que circula numa solução; mostrar que a massa de metal depositada em um eletrodo aumenta regularmente com a corrente ou com o tempo.
13. Explicar o efeito de mudanças de temperatura ou concentração em termos de teoria de colisões.
14. Predizer o efeito em algum OUTRO componente do sistema quando essas mesmas mudanças na temperatura, pressão ou concentração são feitas. Dada a expressão para a constante de equilíbrio, predizer o efeito na concentração de um componente de sistema quando a concentração de outro componente é mudada.
15. Sabendo o volume de base necessária para neutralizar 1g de ácido, calcular o volume de base necessária para neutralizar qualquer quantidade do ácido.
16. Colocar vários metais em uma solução contendo um íon metálico e usar os dados para localizar os metais acima ou abaixo do metal em solução (começar a construir uma série de atividades).
11. Conceber o ácido como um doador de prótons ou como um acceptor de par eletrônico.
12. Predizer variações no tempo que seriam necessárias para compensar uma variação observada na corrente; usar a quantidade de corrente e tempo para calcular o número de átomos de metal depositados.
13. Aplicar regras relativas a velocidade de reação para predizer mudanças na velocidade que resultariam de mudanças na temperatura e concentração.
14. Observar o efeito de uma variação na temperatura, concentração ou pressão na concentração de alguns componentes de um sistema originalmente em equilíbrio e predizer a natureza do sistema quando mudanças adicionais do mesmo tipo são feitas.
15. Sabendo a concentração da base e o volume necessário para neutralizar um dado volume de ácido, calcular a concentração de ácido.
16. Usar dados de uma série de experimentos tais como esse onde alguns metais aparecem somente na forma de íon enquanto outros aparecem como metais para construir uma série de

atividades.

NOTA: Nenhum dos itens acima foi testado para estabelecer que indivíduos no operacional concreto podem executar as tarefas indicadas na coluna esquerda enquanto as tarefas indicadas na direita podem ser executadas somente por indivíduos no operacional formal. A lista representa diferenças hipotetizadas e é baseada no julgamento do autor sobre a atividade mental requerida para realizar a tarefa. Deveria também ser referido que o que é descrito como uma dicotomia intelectual é uma divisão conveniente de um contínuo. Como consequência, as tarefas que são descritas em ambas as listas variam em dificuldade.

Nesse semestre passado, uma amostra de 20 estudantes foi selecionada dentre os alunos matriculados num curso que supervisionei. Dezessete da amostra se dispuseram para a testagem com uma bateria de testes de Piaget, aplicados por três estudantes da graduação de educação em ciências. Os escores nessas baterias de testes foram, então, correlacionados com o total de pontos ganhos no curso utilizando a correlação produto-momento de Pearson. A melhor estimativa de correlação foi 0,8 (10).

O grau com que essa relação se manteria em outros cursos de química é incerto mas acredito que seria alto. Como parte do trabalho que fizemos no semestre passado, 33 estudantes de vários cursos para iniciantes foram testados com a mesma bateria de testes de Piaget e os escores de um teste de química que havia sido aplicado no semestre anterior. Infelizmente, os estudantes nessa amostra não eram representativos dos estudantes nas classes de química; uma grande proporção deles estava entre os melhores estudantes. Essa restrição da extensão da amostra mais o intervalo de tempo entre a aplicação do exame de química e os testes de Piaget deveria resultar em uma estimativa obtida de correlação mais baixa do que realmente existe entre as duas medidas. Ainda, a correlação era significativa de 0,7 (11).

O que estou dizendo é que a evidência disponível sugere fortemente que há um número significativo de estudantes iniciantes na universidade que não opera no nível formal - possivelmente em torno de 50% das disciplinas iniciais de cursos de graduação não-científicos - mas que o conteúdo de química e a abordagem que normalmente damos no ensino de química requer que os estudantes operem no nível formal a fim de compreender conceitos que são apresentados. Se essa afirmação está correta então claramente temos um problema. Realmente, espero que o "se" daquela afirmação tenha um acordo muito menor que o "então". Meu colega Derek Davenport aludiu aos mesmos problemas que me preocupam ainda que abordemos a questão de perspectivas bastante diferentes. Para citar Derek: "Sob o recuo pós-Sputnik, o conteúdo de cursos de química foi profundamente mudado. Isso foi bom na medida em que muitos 'trastes' inúteis se acumulavam. Ao mesmo tempo, o nível intelectual foi elevado ao ponto em que a média dos estudantes (e muitos dos

T.A.'s) estavam freqüentemente fora de contato com a realidade. FATOS DESCONHECIDOS ESTAVAM SENDO EXPLICADOS EM TERMOS DE UMA TEORIA INSONDÁVEL O QUE RESULTAVA EM VÁRIOS GRAUS DE CAOS. Como a 'Rainha de Copas', devia-se correr rápido para ficar no mesmo lugar e duas vezes mais rápido para prosseguir na dianteira".(12) (destaque das letras maiúsculas acrescentado).

Na medida em que as mudanças que observamos no ensino de ciências se deram na direção da explicação de fatos químicos que os estudantes não tinham oportunidade de experimentar em termos da insondável teoria, certamente tornamos a ciência mais difícil para aqueles "bons" estudantes que não podem entender abstrações. A tentação de voltar a um curso baseado na memorização cega de um catálogo de fatos químicos descritivos é tão repugnante para mim como a continuação de cursos baseados na memorização cega de impenetrável teoria. A alternativa, em minha opinião, é reconhecer o porquê da teoria ser impenetrável; isto é, reconhecer que uma grande parte de nossos estudantes operam abaixo do nível formal e aproximar o ensino de química por um caminho tal ou que contornemos o problema ou o superemos. Podemos contornar o problema se pudermos tornar aquilo que tentamos ensinar acessível para aqueles estudantes que não pensam de modo formal e podemos superá-lo se pudermos encorajar e ajudar os estudantes a se tornarem formais. Quero agora, tratar dessas duas questões.

Permitam-me descrever o que quero dizer por tornar o conteúdo disponível para o estudante concreto. No quadro anterior, sugeri que o conceito de um ácido como algo que tornará o tomassol vermelho é um conceito concreto. O significado do conceito é facilmente aprendido a partir da observação sensorial e requer simples habilidade de classificação. Mas também sugeri que o conceito de um ácido como algo que irá produzir íons hidrogênio em solução aquosa (Arrhenius), como um doador de prótons (Bronsted-Lowry) ou como um acceptor de par eletrônico (Lewis) é formal. Esses significados de ácido não podem se tornar claros diretamente através dos sentidos, na medida em que não há forma de sentir prótons ou pares eletrônicos. Além disso, esse conceito de ácido pode ter significado somente através da imaginação ou através de pensamento lógico sobre a natureza das moléculas que interagem.

Antes de prosseguir, permitam-me fazer uma advertência para aqueles que dizem: "Tolice! Eu não tenho problemas para ensinar aos estudantes as teorias de ácidos e bases de Bronsted-Lowry ou Lewis". Antes que você chegue a esta conclusão com excessiva rapidez, cheque cuidadosamente para se certificar que os estudantes que "aprenderam" esses conceitos não estão simplesmente 'papagaiando' palavras sem terem aprendido o seu significado. O que estou me referindo aqui é aprendizagem SIGNIFICATIVA mais do que repetição de memória.

Eu sugeri - e acredito - que conceitos formais são realmente acessíveis para estudantes que não são formais em seu pensamento mas acredito que podemos capacitar o aluno do nível concreto para adquirir conceitos substitutos que podem substituir a coisa real, capacitando-os a manipular muitos (mas não todos) os problemas que nós lhes impingimos e fazer em algum momento no futuro. A solução, eu acredito, é fornecer experiência extensiva com suportes concretos que sirvam de modelo para o conceito abstrato. Isso já é feito agora, mas não suficientemente. no caso do conceito de ácido, por exemplo, acredito que podemos trabalhar muito bem, se fizermos uso extensivo de modelos físicos nos quais possamos mostrar aos estudantes uma bola representando o próton sendo removido do substrato ácido. O modelo é concreto e o estudante pode imaginar o processo que descrevemos em termos desse modelo.

Além dos modelos físicos manipulados pelo estudante, pode-se fazer uso de filmes para fornecer modelos macroscópicos de sistemas microscópicos. Diversos exemplos de tais modelos podem ser vistos nos filmes do CHEM study; por exemplo, o uso do tanque de ondas para demonstrar padrões de interferência em "Cristais e suas estruturas", e uso de modelos moleculares para demonstrar adsorção de energia ondulatória em "Espectroscopia Molecular" e a animação usada para descrever o comportamento molecular em "Introdução para cinética de reações". Provavelmente é certo que o conceito que o estudante desenvolve quando ele vê tais modelos não é exatamente o conceito que estamos tentando ensinar, mas é uma razoável aproximação e tem considerável utilidade para lidar com vários problemas que o estudante deve ser solicitado a resolver.

Não é preciso muita imaginação para ver que são muitas as possibilidades do uso de modelos físicos para dar significado para conceitos abstratos em química. O que parece ser necessário é que o instrutor (que certamente é formal em seu pensamento) aprecie que é valioso o tempo e esforço em brincar com bolas e varetas e que seus alunos façam isto. Mas há pelo menos alguma evidência para mostrar que o tempo extra é bem gasto, a menos que você esteja bem interessado em estudantes que memorizem informação. Num estudo feito em West Virgínia, descobriu-se que estudantes solicitados a construir modelos físicos para representar os reagentes e produtos para cada equação discutida nas aulas obteve escore aproximadamente 24% mais alto em todos os testes dados durante o semestre do que os estudantes que não utilizaram os modelos (13). Deve ser mencionado que quando apenas o nível da memória era solicitado nas questões do teste, os estudantes que não usaram os modelos foram um pouco melhor (em torno de 5%), mas para questões que envolviam pensamento lógico, os estudantes que tinham usados os modelos tinham escores de 30 a 65% mais altos. Em um teste de retenção dado a estudantes que continuavam a disciplina no semestre seguinte, a diferença entre os grupos era essencialmente essa.

Há outras estratégias que podem ser usadas no ensino de química para tornar o conteúdo mais acessível para os estudantes que não são completamente formais em seu pensamento. Certos conceitos podem ser abordados de várias formas e, em alguns casos, uma abordagem requer mais pensamento formal do que outra. Como exemplo, eu diria que a apresentação da oxidação e redução como uma perda e ganho de elétrons requer pensamento formal enquanto que a apresentação da oxidação e redução em termos de um aumento e diminuição do número de oxidação requer somente pensamento concreto. Num primeiro exame, isso parece ser absurdo já que ambas as definições do conceito são em termos de alguma espécie de ganho ou perda, mas considere que o número de oxidação é apresentado como um processo de contabilidade no qual o aluno aprende um conjunto de regras que são facilmente aplicadas para achar o número de um átomo e então a variação no número de oxidação. Não é necessário para o estudante imaginar qualquer coisa sobre a natureza dos átomos (que são decididamente NÃO concretos) para que aplique as regras para balancear equações envolvendo oxidação e redução ou para chegar a qualquer das conclusões que normalmente queremos alcançar no decorrer de nossa instrução. Além disso, o ensino de oxidação e redução, dessa forma, não interfere com a posterior associação que o estudante faz da oxidação com a perda de elétrons quando na unidade de eletroquímica - ele faz algumas observações concretas que não poderão ser facilmente extrapoladas para a conclusão de que o aumento no número de oxidação de um átomo deve ser o resultado de uma perda de elétrons. Mas o entendimento da oxidação em termos de perda de elétrons requer imaginação do que nunca foi visto e uma compreensão de um sistema postulatório-dedutivo, a saber, a teoria atômica. Por isso, me parece que esse conceito de oxidação somente pode ser entendido por estudantes que estejam em operações formais. A abordagem do 'factor label' (algumas vezes chamado análise dimensional ou análise de unidades) para resolver problemas em química é largamente utilizada porque os professores que a empregam acham que ela funciona ao passo que as abordagens de razão e proporção são facilmente confundidas pelos estudantes. Para um estudante aplicar consistente e corretamente o método de razão e proporção para problemas químicos deve ser capaz de pensamento formal. Já que todos os problemas de estequiometria envolvem o conceito de razões e proporções, estou convencido que qualquer estudante que entende completamente o que está ocorrendo deve estar operando em nível formal, independente de como ele resolve o problema. Mas o 'factor label' fornece um procedimento praticamente garantido para resolver problemas estequiométricos corretamente sem a necessidade do pensamento formal. Além disso - e considere isto muito importante - esse procedimento organiza os fatos químicos do problema de forma tal que pode conduzir o estudante a ver o raciocínio que caracteriza a solução. De qualquer

maneira, não interfere na percepção das relações lógicas implicadas na equação e pressupostas na solução do problema.

Estou firmemente convencido que podemos identificar muitos outros tópicos em química que são geralmente apresentados de uma maneira que requer pensamento formal mas que podiam ser apresentados de tal forma que um razoável fac-simile da idéia estivesse disponível para estudantes que não estivessem no nível de operações formais. Contudo, acredito que é incorreto pressupor que qualquer um que não seja formal em seu pensamento possa "entender" química. Química, e a matéria das ciências, é formal por sua própria natureza. Reconhecendo isso, nós não podemos continuar a esquivar-nos de nossa responsabilidade com o desenvolvimento do pensamento formal.

Uma vez que Piaget sugere que estudantes deveriam desenvolver pensamento formal por volta da idade de 15 anos e na medida em que sabemos que muitas pessoas conseguem, devemos perguntar: "Porque aproximadamente a metade dos estudantes de cursos não-científicos não conseguem atingir pensamento operacional formal?" Uma possível explicação - e que não deve ser completamente ignorada - é a herança genética. Entretanto, há diversas observações (por exemplo, que uma proporção maior de meninos exibe pensamento formal que meninas) que sugere outras razões. Há alguns estudos que mostram que a educação pode levar a uma melhoria no pensamento formal (3). Estamos em um estágio exploratório de pesquisa nesta área, mas há concordâncias que parecem estar emergindo. Primeiro, a inclusão de experiência concreta - isto é, oportunidades de realmente tocar, cheirar, ver e manipular materiais que levariam ao conceito - parece ser importante. Mas experiências concretas NÃO SÃO particularmente úteis se tudo o que estudante fizer for apenas cheirar, ver e manipular sem ser forçado a pensar sobre que está fazendo. Como isso é o que acontece na maior parte de nosso trabalho de laboratório, não adianta muito. Torna-se aparente que aquelas experiências educacionais que encorajam o debate intelectual de idéias, a ponderação da evidência e a ênfase em "fazer sentido" a partir dos fatos observados conduzem ao desenvolvimento de pensamento formal. Mas essas experiências educacionais consomem tempo, requerem uma grande interação entre estudantes ou entre professores e estudantes e são dolorosamente frustrantes para ambos, professor e estudante. Estudantes que não estão ainda no nível de operações formais provavelmente acharão a experiência tão frustrante que queiram desistir e o instrutor provavelmente os olhe como tão incapazes para entender o material seja como for. Se o curso for superior, esses estudantes irão fracassar porque não podem prosseguir - e provavelmente deveriam. Se o curso é um curso em serviço para educação elementar superior ou enfermagem ou economia doméstica superior uma resposta mais comum que se supõe é que essa gente é muito incapaz ou muito desinteressada para entender química e o

curso é desenhado de tal forma que a ênfase é em evocar informação que raramente tem significado para o estudante. Se o estudante fizer qualquer esforço razoável e treinar para recordar uma proporção moderada do material memorizado sem se confundir muito a ele será dado o benefício da dúvida e passado.

Parecemos estar num carrossel. Apresentamos o material num nível abstrato com poucos apoios concretos até mesmo para os melhores estudantes compreenderem; como os estudantes são intelectualmente incapazes de entender as idéias, eles memorizam; aplicamos um teste a partir do qual descobrimos que os estudantes aprenderam somente o que pode ser aprendido por memorização; concluímos que os estudantes não podem realmente pensar, assim é melhor que nos satisfaçamos em ensinar o que podemos ensinar por repetição; como nós limitamos nossa instrução para aquilo que envolve repetição de memória, os estudantes nunca são forçados a desenvolver seu pensamento para o nível de operações formais; como eles não se desenvolvem para o nível de pensamento formal, não podem entender o material abstrato que nós apresentamos.

Acredito que possamos fazer considerável progresso no ensino da química para estudantes de fases não científicas quando reconhecemos o vasto número de idéias em química que são apresentadas de uma maneira que requeira pensamento formal até mesmo para um compreensão aproximada do conceito. Podemos procurar abordagens alternativas para essas idéias que necessitem menos de operações formais. Entretanto, desde que a ciência seja por sua natureza formal, devemos também fazer um esforço consciente para intensificar o desenvolvimento intelectual de estudantes universitários. Não podemos pressupor que "bons" estudantes SÃO formais mas podemos certamente ajudar a SE TORNAREM formais.