



Modelagem e o “Fazer Ciência”

Poliana Flávia Maia Ferreira e Rosária da Silva Justi

Modelos são, ao mesmo tempo, ferramentas e produtos da ciência. O desenvolvimento do conhecimento sobre modelos implica no desenvolvimento do conhecimento sobre a própria ciência. Assim, o uso de estratégias de ensino que auxiliem o desenvolvimento do conhecimento sobre modelos ajuda a desenvolver o conhecimento tanto sobre determinado conteúdo, quanto sobre o processo de construção do conhecimento científico. Este trabalho apresenta o relato da aplicação de uma estratégia de ensino para equilíbrio químico (com uma descrição detalhada), baseada em atividades de modelagem, que objetivou o desenvolvimento do conhecimento dos alunos nessa perspectiva.

► modelagem, produção do conhecimento, equilíbrio químico ◀

Recebido em 6/7/06, aceito em 6/12/07

32

As dificuldades associadas ao ensino e à aprendizagem de Química perpassam, geralmente, o aspecto abstrato dessa ciência. Lidar com aspectos intangíveis aos nossos sentidos proporciona uma sensação de inépcia e vulnerabilidade do que é possível apreender frente à amplitude e complexidade do universo em que estamos inseridos. Essa sensação e essas dúvidas, contudo, não são negativas. Ao contrário, elas são cruciais para despertar a vontade de descoberta, decifrando os fenômenos que nos cercam. A compreensão desses fenômenos exige não apenas a repetição ou a aplicação de uma série de conhecimentos previamente memorizados, mas, mais do que isso, a elaboração de hipóteses e investigações, associadas à criatividade, à lógica e, é claro, aos conhecimentos anteriores, o que vem a culminar em algo que sacia, mesmo que parcialmente, nosso

Lidar com aspectos intangíveis aos nossos sentidos proporciona uma sensação de inépcia e vulnerabilidade do que é possível apreender frente à amplitude e complexidade do universo em que estamos inseridos.

desejo de compreender o mundo: os modelos.

Um modelo pode ser definido como uma representação parcial de um objeto, evento, processo ou idéia, que é produzida com propósitos específicos como, por exemplo, facilitar a visualização; fundamentar elaboração e teste de novas idéias; e possibilitar a elaboração de explicações e previsões sobre comportamentos e propriedades do sistema modelado (Gilbert e Boulter, 1995). Assim, um modelo não é uma cópia da realidade, muito menos a verdade

em si, mas uma forma de representá-la originada a partir de interpretações pessoais desta.

Os modelos estão no centro de qualquer teoria: são as principais ferramentas usadas pelos cientistas para produzir conhecimento e um dos principais produtos da ciência (Nersessian, 1999). A construção e o emprego de modelos são fundamentais no

processo da pesquisa científica, fazendo parte do processo natural de aquisição do conhecimento pelo ser humano. Esse processo é inerente ao pensamento de todas as pessoas, cientistas ou leigos, mesmo que com graus de organização e complexidade diferentes.

Saber, muitas vezes, que é impossível apreendermos diretamente a “verdade”, que lidamos com um universo de modelos, que nem sempre podemos afirmar que algo “é assim” e que aquilo é apenas mais um modelo para determinado fenômeno faz parte do “saber ciência”. Esse é um conhecimento que pode instigar e motivar os alunos, mas do qual eles são, geralmente, privados.

Quando pensamos no ensino, principalmente na forma como ele vem sendo tradicionalmente desenvolvido, o conhecimento científico é apresentado como mais um “conteúdo”, sem que seja estudado o processo humano envolvido por trás daquele conhecimento, sem emoção, sem busca, sem motivação. Pensar sobre como um fenômeno ocorre se torna cada vez mais difícil, à medida que o saber na escola se associa à

memorização de fatos, equações e procedimentos.

Contudo, a compreensão dos processos de produção de conhecimento e dos modelos elaborados nesses processos é necessária para a promoção de um aprendizado significativo, isto é, um aprendizado no qual o aluno estabeleça relações entre o que está aprendendo e o que já sabe e que

favoreça a transposição de um dado conhecimento para outros problemas e situações. Nessa perspectiva, os alunos têm que ser capazes de pensar nos modelos, visualizar seu funcionamento em suas mentes e usá-los como ferramentas (como os cientistas fazem), indo além da simples declaração do conhecimento.

O desenvolvimento do conhecimento da forma como foi colocado deve envolver um aprendizado participativo, com ricos contextos que encorajem a participação dos alunos, em que esses trabalham de maneira colaborativa na construção de significados, conceitos e representações, além de permitir que eles aprendam sobre a construção da ciência.

A inserção de alunos em atividades de modelagem¹ está de acordo com essa perspectiva. A atividade de elaborar modelos permite ao aluno visualizar conceitos abstratos pela criação de estruturas por meio das quais ele pode explorar seu objeto de estudo e testar seu modelo, desenvolvendo conhecimentos mais flexíveis e abrangentes (Clement, 2000). Dessa forma, pode ocorrer uma sinergia entre o conhecimento conceitual e a modelagem, em que o conhecimento do estudante permite criar modelos e estes contribuem para o desenvolvimento e a construção de novos conhecimentos. Além disso, a vivência desse processo permite ao aluno perceber a complexidade e as limitações envolvidas no desenvolvimento de construção do conhecimen-

to, apresentando-o a uma realidade repleta de dúvidas e incertezas, muito diferente da exatidão com que o conhecimento escolar é freqüentemente apresentado.

Apesar da riqueza que esse tipo de trabalho pode oferecer ao ensino de Ciências, a modelagem e sua contribuição para a aprendizagem é uma área recente de pesquisa, e deve ser alvo de mais es-

tudos para que possa fundamentar propostas de mudanças no ensino atualmente promovido (Justi e Gilbert, 2003). Além de as pesquisas sobre utilização de atividades de modelagem no ensino serem poucas, muitas delas se mostram pouco aplicáveis à realidade do ensino, principalmente pelo número de alunos que elas investigam (geralmente muito pequeno) e pela pouca orientação direcionada ao professor para subsidiar trabalhos desse tipo.

Nessa perspectiva, o objetivo deste trabalho é apresentar uma proposta de ensino baseada em atividades de modelagem aplicada em um contexto real de sala de aula no Ensino Médio. Seus principais objetivos foram contribuir para o ensino de um conteúdo específico – Equilíbrio Químico – e para a compreensão sobre modelos (o que são, para que servem e como são construídos). A escolha do tema Equilíbrio Químico se fez por este ser um tópico geralmente relacionado a dificuldades de ensino e aprendizagem. Tal apresentação será acompanhada de alguns comentários oriundos da experiência de aplicação desta.

A literatura aponta várias dificuldades e concepções alternativas

dos alunos em relação a esse tema. Dentre elas, as principais e mais recorrentes são: a reação pára de ocorrer no equilíbrio; as concentrações de reagentes e produtos são iguais no equilíbrio; e a visão compartimentalizada dos reagentes e produtos (van Driel, de Vos e Verdonk, 1990). Como tais concepções têm origem na compreensão de “como” o processo ocorre, o uso de modelos e modelagem no ensino desse tema parece bastante pertinente.

A elaboração da proposta

Todo o processo de modelagem foi pensado com base em propostas da literatura (Justi e Gilbert, 2002; Clement, 1989), envolvendo atividades relacionadas aos processos de construir, reformular e socializar os modelos construídos. A abordagem metodológica também foi pensada de forma que a ação do professor não fosse a de julgar os modelos construídos pelos alunos, impondo um modelo “correto”. Pelo contrário, o papel do professor deveria ser o de sustentar e conduzir a construção dos modelos, proporcionando ricos contextos de aplicação e teste destes por meio de questionamentos e informações sobre eles e sobre os sistemas modelados (Ferreira e Justi, 2005).

A proposta de ensino elaborada envolveu uma seqüência de atividades conduzidas a partir da realização de experimentos mentais² e empíricos, com o objetivo de fundamentar a aprendizagem em sucessivas construções e reconstruções de modelos. Cada atividade teve um propósito particular no processo, seja no desenvolvimento do conhecimento químico ou no próprio processo de modelagem. Essas atividades envolveram, principalmente: fornecer informações

Um modelo pode ser definido como uma representação parcial de um objeto, evento, processo ou idéia, que é produzida com propósitos específicos.

A atividade de elaborar modelos permite ao aluno visualizar conceitos abstratos pela criação de estruturas por meio das quais ele pode explorar seu objeto de estudo e testar seu modelo, desenvolvendo conhecimentos mais flexíveis e abrangentes

1. Como em Português não existe uma única palavra que seja consensualmente usada como sinônimo de processo de elaboração e reformulação de modelos, fizemos opção por nos referirmos a tal processo usando a palavra modelagem.

2. Aqueles realizados apenas na mente do indivíduo.

sobre o sistema em estudo; instigar a formulação de modelos para os sistemas; permitir a expressão e socialização dos modelos construídos; e testar e perceber a aplicação desses modelos.

Para a aplicação dessa proposta, foi importante que os alunos já apresentassem determinados conhecimentos prévios, como modelo de partículas para os diferentes estados físicos e reações químicas (noção de transformação, mesmo que apenas associada a rearranjo de átomos).

A referida proposta de ensino foi desenvolvida em uma turma da primeira série do Ensino Médio de uma escola pública federal de Belo Horizonte, composta por 26 alunos. Todo o processo será descrito a seguir a partir de cada um dos sistemas utilizados e das atividades que foram desenvolvidas a partir deles. Em cada um dos momentos apresentados, os alunos trabalharam em grupos (de 4 a 6 alunos), havendo socialização contínua dentro desses grupos, destes com a professora – uma vez que ela participou de discussões com esses grupos durante o acompanhamento das atividades – e, em alguns momentos, de toda a turma – nos momentos de discussão geral conforme será apresentado no relato.

A aplicação da proposta

1º momento: Estudo do processo $N_2O_{4(g)} \rightarrow 2NO_{2(g)}$

O primeiro fenômeno em estudo compreendeu a transformação do gás N_2O_4 (dióxido de dinitrogênio) em NO_2 (monóxido de dinitrogênio), por meio do aquecimento de um tubo de ensaio fechado contendo o primeiro gás (aquecimento feito de maneira demonstrativa dada a toxicidade do gás NO_2). Esse é um sistema que apresenta claras evidências físicas da

ocorrência de reação química – uma vez que os gases envolvidos têm cores bem distintas. A partir das evidências, os alunos foram convidados a elaborar e expressar seus modelos para o fenômeno, o que permitiu a reflexão sobre o processo de uma reação química (o que é, como ela ocorre) e integração aos conhecimentos prévios. Foi solicitado que a expressão dos modelos

ocorresse de forma concreta e, para isso, foram disponibilizados diversos materiais como massinha de modelar, bolas de isopor, palitos, lápis de cor ou outro material que os alunos tivessem disponível. Tais materiais também

foram disponibilizados em todas as etapas subseqüentes, ficando a cargo do aluno o uso e a escolha destes.

A escolha do sistema NO_2/N_2O_4 foi importante para a própria construção do modelo, uma vez que este envolveu substâncias cujas moléculas são simples de serem representadas.

2º momento: Estudo do processo $2NO_{2(g)} \rightarrow N_2O_{4(g)}$

Nessa segunda etapa, o resfriamento do sistema trabalhado anteriormente forneceu aos alunos evidências da reversibilidade da reação mediante a alteração da coloração do sistema³.

Os alunos foram convidados a representar um modelo para a reação observada a partir do modelo proposto para a situação anterior, promovendo as devidas reformulações ou, caso necessário, construindo um novo modelo que fosse aplicável a esse sistema nas duas situações. Assim, essa etapa permitiu um maior conhecimento sobre o sistema em estudo e criou uma oportunidade para os alunos refletirem sobre seus modelos anteriores.

3º momento: Estudo do processo $2NO_{2(g)} \rightleftharpoons N_2O_{4(g)}$

A terceira etapa envolveu o sistema NO_2/N_2O_4 à temperatura ambiente, assumindo uma coloração intermediária entre as que haviam sido observadas nas duas situações a que o sistema havia sido submetido anteriormente.

Aos alunos, foram solicitados a formular (ou reformular os seus) modelos que explicassem a coloração do sistema à temperatura ambiente, com base nos modelos anteriores.

Essa atividade teve o propósito de permitir que os alunos desenvolvessem a idéia de coexistência de espécies reagentes e produtos em um mesmo sistema, tendo novas informações a respeito deste e, ao mesmo tempo, testando a aplicabilidade dos modelos que eles construíram a uma nova situação que envolvia o mesmo sistema.

Nesse momento, os alunos tiveram a oportunidade de socializar suas idéias, apresentando seus modelos para a turma. Isso foi importante para a identificação das idéias que eles apresentavam sobre os sistemas, quais sejam: *a reação ainda poderia estar ocorrendo, sem ter se processado por completo; apenas parte das espécies reagiu ou a reação parou de ocorrer.*

Mesmo que os grupos, até esse momento, tivessem construído modelos diferentes, nenhum modelo ou idéia foi imposto por qualquer grupo ou pelo professor, sendo a discussão conduzida sem qualquer interferência no sentido de corrigir tais modelos. Mesmo porque o estudo do próximo sistema apresentava como objetivo ajudar os alunos a testar seus modelos, fornecendo um novo contexto de aplicação, além de novas informações sobre um sistema em equilíbrio químico.

4º momento: Trabalhando com o sistema $CrO_4^{2-}/Cr_2O_7^{2-}$

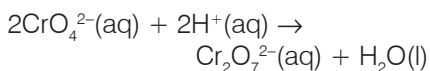
Esse sistema foi escolhido por ser, entre muitos exemplos envolvendo equilíbrio, um sistema relativamente simples (considerando a representação das estruturas das espécies envolvidas e o número dessas espé-

Pensar sobre como um fenômeno ocorre se torna cada vez mais difícil, à medida que o saber na escola se associa à memorização de fatos, equações e procedimentos.

3. É importante ressaltar que a associação da presença de determinado gás à coloração do sistema foi realizada a partir do conhecimento da coloração de cada substância (gás NO_2 e gás N_2O_4), que foi informado pela professora no começo da atividade, junto com suas respectivas fórmulas.

cies) e por permitir a visualização de evidências da presença de espécies diferentes.

Nessa atividade, os alunos realizaram um experimento envolvendo a reação entre duas soluções, de mesma concentração, de cromato de potássio (K_2CrO_4) e ácido clorídrico (HCl), que foram adicionados em relações estequiométricas, segundo a equação da reação:



As informações sobre a fórmula e coloração das espécies e sobre a equação química que representava a reação observada foram fornecidas pela professora.

Em seguida, algumas gotas de acetato de chumbo ($Pb(C_2H_3O_2)_2$) foram adicionadas ao sistema resultante, ocasionando a formação de um precipitado amarelo: cromato de chumbo ($PbCrO_4$) – informação também apresentada pela professora que, mediante as evidências empíricas observadas pelos alunos, apresentou as fórmulas das substâncias participantes e a equação da reação de precipitação. Dessa maneira, ficou evidenciada a existência de íons cromato em solução, mesmo após a adição do ácido (o que pode ser observado mesmo com excesso deste). Essa conclusão foi estabelecida com os alunos a partir da análise da primeira equação.

A realização desse experimento objetivou evidenciar a existência de espécies reagentes e produtos no sistema e favorecer a elaboração da conclusão de que há reações que não se processam por completo. Assim, ao serem solicitados a construir um modelo para a reação (com base em seus modelos anteriores), os alunos tiveram a oportunidade de perceber a inconsistência de algumas de suas concepções e, então, reformular seus modelos. As principais inconsistências dos modelos anteriores estavam relacionadas à crença de a reação se processar completamente e em único sentido. Assim, a existência de espécies reagentes no sistema, mesmo após a adição de excesso de

ácido, foi evidência crucial para que os alunos refletissem sobre o porquê dessa ocorrência. A reformulação dos modelos a partir dessa evidência foi observada pela professora por intermédio do acompanhamento das discussões dos grupos e, posteriormente, no momento de socialização dos modelos de cada grupo com a turma.

Testando o modelo de equilíbrio

Essa última etapa do processo envolveu a reação anterior entre cromato de potássio e ácido clorídrico, mas com enfoque no deslocamento do equilíbrio químico. Ela permitiu a observação da alteração visual do sistema que, com a adição de uma solução de ácido, ficou alaranjado (evidenciando a existência de íons dicromato – $Cr_2O_7^{2-}$) e, com a adição de uma solução de hidróxido de sódio (NaOH), ficou novamente amarelo (evidenciando a existência de íons cromato – CrO_4^{2-}). Os alunos interpretaram tais evidências em termos de produção dos íons cromato e dicromato, isto é, perceberam que a reação pode ser “forçada” a ocorrer em um sentido ou outro.

Em termos do processo de modelagem, esse último experimento forneceu evidências para o teste do modelo proposto por cada grupo para o experimento anterior. Tais modelos apresentavam, em geral, a idéia de dinamicidade das reações químicas, elemento fundamental para a compreensão do processo de equilíbrio químico. A explicação do deslocamento do equilíbrio a partir dos modelos construídos possibilitou a cada grupo perceber suas abrangências e limitações a partir do sucesso (ou não) na aplicação de seus modelos àquela nova situação. Tais elementos foram levantados em discussões internas dos grupos e destes com a professora.

O posterior relacionamento desse último modelo àquele proposto para

o sistema NO_2/N_2O_4 foi realizado por meio de uma socialização das idéias de todos os grupos e/ou alunos em uma discussão final. Nesse momento, a professora conduziu a discussão de forma que os próprios alunos destacaram características cruciais para a compreensão do equilíbrio químico como, por exemplo, presença de todas as espécies (reagentes e produtos), coexistência dessas espécies em um mesmo recipiente e possibilidade de deslocamento do equilíbrio. Foram realizadas interferências pela professora no sentido de contribuir para que os alunos pensassem no processo de equilíbrio químico de uma forma mais geral,

não restrito a uma ou mesmo a essas duas reações. Isso foi realizado pela introdução e discussão de outros exemplos como o equilíbrio entre ozônio e oxigênio na estratosfera e o equilíbrio entre hemoglobina ligada ao oxigênio e ao gás carbônico no sangue.

Mesmo apresentando modelos diferentes ao final do processo, todos os grupos participaram de forma ativa da discussão final, sendo capazes de apontar as principais características para a compreensão do equilíbrio químico (destacadas anteriormente). Além disso, um aprendizado significativo do tema foi observado pelos resultados de avaliações de conteúdo realizadas em duas ocasiões posteriores (uma realizada logo após a aplicação da estratégia e outra cerca de um mês depois). Essas avaliações compreenderam adaptações de questões de vestibulares, abertas e fechadas, que envolviam análises de gráfico e de representações de sistemas. Todas elas requeriam conhecimentos sobre equilíbrio químico como processo, não estando associadas à aplicação de fórmulas e algoritmos.

Conclusão

Essa estratégia de ensino forneceu aos alunos a oportunidade para

O uso de estratégias de modelagem contribuem para um ensino de química mais autêntico, por meio do qual os alunos são capazes de perceber a ciência como um empreendimento humano, com poderes e limitações.

desenvolver modelos de equilíbrio químico com base em seus modelos anteriores, principalmente modelo cinético molecular e de reações químicas. Conforme observado nos modelos elaborados pelos alunos e em seus comentários sobre eles, a aplicação do modelo cinético molecular foi especialmente relevante para que os alunos propusessem, em seus modelos, *como* o equilíbrio ocorre no nível submicroscópico – aspecto que facilitou a compreensão do dinamismo do processo.

A condução dessas atividades foi feita buscando: a reflexão sobre os modelos construídos; a integração entre conhecimentos prévios e as novas evidências observadas; e o reconhecimento da validade dos diversos modelos elaborados. Isso sem que o aluno tivesse que, necessariamente, chegar a um modelo igual àquele aceito cientificamente.

Essa é uma proposta que está de acordo com estudos na área de mo-

delagem que apontam que a aprendizagem ocorre mais ao construir e manipular modelos do que apenas a partir de observações destes (Vosniadou, 2002).

O conhecimento sobre 'fazer ciência' deve ser favorecido por professores que acreditam na importância de seus alunos aprenderem química de forma mais ampla.

O desenvolvimento e as mudanças das idéias dos alunos durante o processo de ensino foram verificados mediante o acompanhamento das discussões dos grupos (registradas em vídeo), análise das

atividades escritas e das avaliações de conteúdo posteriormente realizadas – que evidenciaram a aprendizagem de aspectos relevantes do equilíbrio químico, além da ausência de concepções alternativas que a literatura cita sobre o tema estudado.

A aplicação desse tipo de estratégia permitiu, ainda, que os alunos vivenciassem um processo de construção de conhecimento, passando por momentos de dúvidas e incertezas. Além disso, o fato de, mesmo ao final do processo, os alunos não receberem uma sentença sobre seus modelos estarem “certos” ou

“errados” os inseriu de maneira mais realista no ‘fazer ciência’. Por isso, acreditamos que o uso dessa estratégia fundamentada em modelagem contribuiu para um ensino de química mais autêntico, por meio do qual os alunos foram capazes de perceber a ciência como um empreendimento humano, com poderes e limitações (AAAS, 1989). A nosso ver, esse conhecimento sobre ‘fazer ciência’ deve ser favorecido por professores que acreditam na importância de seus alunos aprenderem química de forma mais ampla. Esperamos que o fato de termos compartilhado essa experiência desperte o interesse de professores que ainda não haviam pensado sobre isso e os estimule a incorporar tal dimensão em sua prática pedagógica.

Poliana Flávia Maia Ferreira (polianamaia@yahoo.com.br), licenciada em Química, mestre em Educação e doutoranda em Educação pela UFMG. **Rosária da Silva Justi** (rjusti@ufmg.br), bacharel e licenciada em Química pela UFMG; mestre em Educação pela UNICAMP; doutora em Ensino de Ciências pela Universidade de Reading, Inglaterra; é professora do Departamento de Química e do Programa de Pós-graduação em Educação da Faculdade de Educação da UFMG.

Referências

American Association for the Advancement of Science – AAAS. *Science for All Americans. A Project 2061 report on literacy goals in science, mathematics, and technology*. Washington, DC: AAAS, 1989.

CLEMENT, J. Learning via construction and criticism. Em: Glover, J.A.; Ronning, R.R. e Reynolds, C.R. (Eds.). *Handbook of Creativity*. New York: Plenum, 1989. p. 341-381.

_____. Model based learning as a key research area for science education. *International Journal of Science Education*, 22, 1041-1053, 2000.

FERREIRA, P.F.M. e JUSTI, R.S. Atividades de construção de modelos e ações envolvidas. Em: V Encontro Nacional de Pesquisa em Ensino de Ciências. *Anais...* Bauru, 2005.

GILBERT, J.K. e BOULTER, C.J.

Stretching models too far. Annual Meeting of the American Educational Research Association. *Anais...* San Francisco, 1995.

JUSTI, R. e GILBERT, J.K. Modelling, teachers' view on the nature of modelling, and implications for the education of modellers. *International Journal of Science Education*, 24, 369-387, 2002.

_____. Models and modelling in chemical education. Em: Gilbert, J.; Jong, O. de; Justi, R.; van Driel, J. e Treagust, D. (Eds.). *Chemical Education: Towards Research-based Practice*. Dordrecht: Kluwer, 2003. p. 47-68.

NERSESSIAN, N.J. Model-based reasoning in conceptual change. Em: Magnani, L.; Nersessian, N. J. e Thagard, P. (Eds.). *Model-based reasoning in scientific discovery*. New York: Kluwer/Plenum, 1999. p. 5-22.

VAN DRIEL, J.H., DE VOS, W. e VERDONK, A.H. Why do some molecules

react, while others don't? Em: Lijnse, P.L.; Licht, P.; de Vos, W.; e Waarlo, A.J. (Eds.). *Relating Macroscopic Phenomena to Microscopic Particle*. Utrecht: Centre for Science and Mathematics, 1990. p. 151-162.

VOSNIADOU, S. Mental Models in Conceptual Development. Em: Mangani, L. e Nersessian, N.J. (Eds.). *Model Based Reasoning: Science, Technology, Values*. New York: Kluwer/Plenum, 2002. p. 353-368.

Para saber mais

FERREIRA, P.F.M. *Modelagem e suas contribuições para o ensino de ciências: uma análise no estudo de equilíbrio químico*. 2006. Dissertação (Mestrado em Educação)- Faculdade de Educação, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte. 2006.

Abstract: *Modelling and "Doing Science"*. Due to the role of models in science, learning about models implies in learning about the nature of science. Therefore, the use of teaching strategies focused on modelling can contribute to the development of both content knowledge and knowledge about the production of scientific knowledge. This paper presents the description of a modelling-based teaching strategy for the theme chemical equilibrium, which aimed at students' learning from this perspective.

Keywords: modelling, production of knowledge, chemical equilibrium