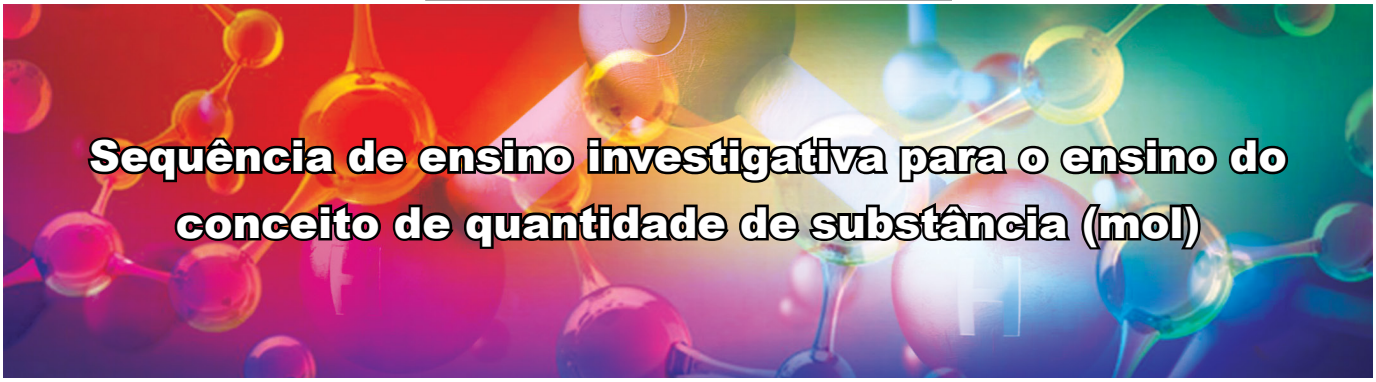
 http://dx.doi.org/10.21577/0104-8899.20160286



Sequência de ensino investigativa para o ensino do conceito de quantidade de substância (mol)

Jadis Henrique P. da Silva, Solange W. Locatelli, Maria Eunice R. Marcondes

O conceito de quantidade de substância ainda é considerado um centro de dificuldades para alunos e professores. Muitas vezes, as abordagens desse tema se resumem a uma apresentação matemática em conjunto com sua definição teórica, o que parece não ser suficiente para que os estudantes compreendam o seu significado. Tendo em vista esse quadro, apresenta-se e discute-se aqui uma estratégia metacognitiva para o ensino de quantidade de substância, com a proposição de uma atividade experimental apoiada nas teorias do autoquestionamento e da aprendizagem autorregulada, aplicada a alunos de um curso popular mantido pela Universidade Federal do ABC, utilizando-se materiais de baixo custo e fácil acesso. Os resultados mostraram que a estratégia do autoquestionamento auxiliou os estudantes na resolução da tarefa, indicando a ocorrência da revisão de conceitos químicos relacionados.

▶ quantidade de substância, mol, estratégia metacognitiva ◀

Recebido em 29/03/2021, aceito em 17/10/2021

O conceito de mol tem sido considerado de difícil cognição, provavelmente por sua natureza teórica e abstrata, dificultando a transição entre os níveis macroscópico e o microscópico (Duncan e Johnstone, 1973, Furió *et al*., 2000). Atualmente a quantidade de matéria foi redefinida durante a 26ª Conferência Geral de Pesos e Medidas (GCPM), passando a se chamar quantidade de substância, enquanto que para o mol temos a seguinte definição:

> *O mol, símbolo mol, é a unidade do SI de quantidade de substância. Um mol contém exatamente 6,022 140 76 × 10^{23} entidades elementares. Esse número é o valor numérico fixo da constante de Avogadro, NA, quando expresso na unidade mol^{-1}, e é chamado de número de Avogadro* (IUPAC, 2019).

Com essa mudança, algumas das dificuldades em torno desse conceito podem vir a diminuir, uma vez que a confusão entre os termos relacionados ao conceito muito presentes no contexto de aprendizagem podem ser minimizados, além de outras dificuldades que vêm sendo apresentadas pelos alunos ao longo do tempo, como por exemplo, a dificuldades em converter problemas químicos em problemas matemáticos ou ainda acreditar que mol seja uma propriedade da matéria e não uma unidade de medida (Dierks, 1981; Omwirhiren, 2015).

Sendo a quantidade de substância uma grandeza fundamental, problemas em seu aprendizado acarretam impactos em assuntos tratados posteriormente, como por exemplo, a estequiometria, equilíbrio químico ou concentração de soluções. Apresenta-se e discute-se, neste trabalho, uma estratégia metacognitiva apoiada na aprendizagem autorregulada como uma abordagem possível para o ensino desse conceito.

Sendo a quantidade de substância uma grandeza fundamental, problemas em seu aprendizado acarretam impactos em assuntos tratados posteriormente, como por exemplo, a estequiometria, equilíbrio químico ou concentração de soluções.

A aprendizagem autorregulada diz respeito à capacidade de controlar os processos de aprendizagem em que estamos inseridos (Schraw *et al*., 2006). Para Zimmerman (2002), a autorregulação não se trata de uma habilidade, mais que isso, é o processo que rege a capacidade de um estudante transformar suas próprias habilidades. Diversos estudos (Schraw *et al*., 2006; Winne, 2018; Ramdass e Zimmerman, 2011) concordam que, em maior ou menor grau, a aprendizagem autorregulada é um

Este é um artigo de acesso aberto distribuído sob os termos da Licença de Atribuição Creative Commons

processo composto por diversas dimensões, em que destacam três delas, sendo a cognição, a metacognição e a motivação.

De modo resumido, a cognição envolve os aspectos do conhecimento e habilidades necessárias para a realização de uma tarefa (Winne, 2018), é o processamento da informação, já a metacognição atua no controle e reflexão do aspecto cognitivo, enquanto que a motivação vem como as crenças e atitudes envolvidas no processo de uso cognitivo e metacognitivo que permitem ou não a conclusão de uma tarefa (Schraw *et al*., 2006).

A proposta para o ensino de mol aqui apresentada constitui-se de uma estratégia metacognitiva, o autoquestionamento, apresentada por King (1991), que utiliza de uma lista de verificação, a qual possibilita o monitoramento por parte dos estudantes durante a tarefa, pois mantém o aluno em frequente verificação de seu progresso, o que pode resultar na melhoria de sua capacidade metacognitiva (Nappi, 2017).

No desenvolvimento da nossa proposta em sala de aula, as duplas de alunos receberam um problema relacionado à quantidade de substância durante uma aula investigativa, para resolver portando uma lista de verificação, adaptada do trabalho de Pate e Miller (2011), para ser utilizada durante a resolução dos problemas, como é mostrado no Quadro 1.

Quadro 1: Lista de verificação com as questões para regulação resumida

PLANEJAMENTO	MONITORAMENTO
Qual é o problema? Que informações me foram dadas? Como isso pode me ajudar? Existe outra forma de fazer isso?	Qual é meu objetivo agora? Estou no caminho correto? Estou usando a minha estratégia?
AVALIANDO	
O que funcionou? O que não funcionou? O que eu deveria fazer diferente na próxima vez?	

Fonte: Adaptado e modificado por JHPS (Pate e Miller, 2011, p. 68.)

Essa lista contém questões de cunho genérico que poderiam auxiliar os alunos no processo de resolução do problema, possibilitando promover o autoquestionamento.

Objetivo

A proposta da atividade é contribuir para o ensino e a aprendizagem acerca do conceito de quantidade de substância em sala de aula, utilizando-se da estratégia metacognitiva do autoquestionamento, utilizando-se materiais de fácil acesso, permitindo sua aplicação nos mais diversos contextos. Para isso, indicam-se os seguintes materiais, necessários à aplicação da atividade, considerando-se 20 alunos dispostos em duplas: 10 provetas, 10 béqueres, 2 balanças de cozinha, tabela periódica para consulta, 10 listas de verificação, 10 cilindros de alumínio e 10 de cobre (cada um deles com volume de 2 mL) que podem ser obtidos em casas de serralheria ou com ferramenteiros, 3g de alumínio, 3g de cobre, 3 pissetas e água.

Descrição da atividade

No total, 10 alunos participaram da atividade, todos estudantes da Escola Preparatória da UFABC (EPUFABC), um curso popular pré-vestibular com enfoque à preparação para o ENEM (Exame Nacional do Ensino Médio). A atividade foi aplicada em novembro de 2018 no término do curso. Optou-se pela separação do grupo de alunos em duplas, sendo a sequência didática organizada em três atividades, conforme descrito no Quadro 2.

A sequência de ensino investigativo (SEI), foi construída com sua estrutura de acordo com as propostas de Schraw (1998), que elenca três etapas básicas para se promover a metacognição em alunos, sendo elas: Etapa 1 - a necessidade que os alunos saibam o que é metacognição; Etapa 2 - a apresentação do modo de pensar do professor para seus alunos; Etapa 3 - Abertura de um espaço de discussão em sala de aula. Essas três premissas foram articuladas durante a realização da SEI e distribuídas durante seu desenvolvimento.

O momento da Pré-atividade (Quadro 2), se refere à apresentação da metacognição para o aluno. O objetivo desse momento é fazer com que os alunos possuam algum conhecimento sobre o tema, facilitando o avanço da atividade, pois, como aponta Schraw (1998), é preciso que os estudantes conheçam o que é metacognição e como ela se diferencia da própria cognição para que o possam repensar e revisar os conceitos.

Passada a discussão sobre metacognição (Pré-atividade), o seguinte problema foi apresentado aos alunos, denominado de Atividade 1 (quadro 2). Primeiramente, eles deveriam considerar dois cilindros de mesmo volume (2mL) cada, sendo um de cobre e o outro de alumínio. Os cilindros foram entregues acompanhados de um kit de ferramentas de laboratório contendo: balança culinária (compartilhada entre todos), espátulas, duas provetas, pisseta com água

Quadro 2: Etapas da Sequência de Ensino Investigativa.

Etapas	Ação	Tempo
Pré-Atividade	Apresentação sobre o que é metacognição.	30 min
Atividade 1	Atividade com volumes iguais de cobre e alumínio.	50 min
Atividade 2	Atividade com massas iguais de cobre e alumínio	50 min

destilada, béqueres, tabela periódica e a lista de verificação (Quadro 1). Essa tarefa foi planejada para ser investigativa e, portanto, os participantes não receberam roteiro ou nenhum outro tipo de planejamento prévio contendo instruções de obtenção de resultados, entretanto, os materiais presentes nos kits foram selecionados considerando-se possíveis rotas de resolução do problema. Além dos materiais fornecidos, foram propostas três questões para que os alunos discutissem e resolvessem: (1) Você acha que nas amostras temos o mesmo número de átomos?; (2) Elabore uma atividade para testar sua hipótese e escreva as etapas que você utilizou para obter a sua resposta; (3) Com um desenho, represente como você acredita ser a disposição dos átomos, no cilindro de cobre e no cilindro de alumínio, faça um desenho para cada.

Esperava-se, nesse momento, que a atividade proporcionasse uma maior aproximação com a lista de verificação e, portanto, na Atividade 1 houve maior participação do professor, auxiliando-os no uso da lista de verificação de questões (Quadro 1), para que então, na Atividade 2 (Quadro 2), se verificasse aumento da autonomia dos alunos durante sua realização.

Após a conclusão da Atividade 1, inseriu-se a segunda etapa proposta por Schraw (1998). Abriu-se um espaço para que o próprio professor apresentasse seu modo de pensar, demonstrando para os alunos como ele procederia para obter uma resposta a essas perguntas. Assim elaborou-se uma resolução passo-a-passo, incluindo um modelo de como o professor faria uso das questões da lista de verificação durante o processo. O processo de resolução foi montado apresentando-se as respostas do professor passo a passo, mostrando, além disso, o raciocínio empregado na obtenção da resposta ao problema (Schraw,1998). Na Figura 1 temos trechos da resolução apresentada pelo professor durante esse momento.

O objetivo desse momento é apresentar para os participantes como o professor resolveria a atividade com o auxílio da lista de verificação fornecida, pois a partir do processo de observação, quando bem conduzido, faz-se com que o aluno possa comparar sua maneira de lidar com as tarefas, com a forma como o professor a faz, abrindo espaço para que o processo de reconstrução ou construção dos conceitos comece a ocorrer. Como afirma Fordham (2006), a partir de momentos de pausa e explicação dos próprios pensamentos, o professor pode modelar a habilidade metacognitiva de seus alunos. O processo apresentado seguiu até a obtenção da resposta final.

Na sequência, foi apresentado aos alunos, uma possibilidade de resposta elaborada pelo professor para a representação em desenho, visando explicar o fenômeno observado, correspondente a 3.ª questão da situação problema, essa representação se encontra na Figura 2.

O modelo representativo foi explicado aos alunos de forma simplificada, utilizando aspectos como densidade, raio atômico e massa molar das substâncias. A elaboração desse modelo foi realizada utilizando o software livre – Avogadro®, que possui em sua biblioteca representações padrões das células unitárias de ambos os metais.

Ao final da Atividade 1 (Quadro 2), iniciou-se uma discussão de grupo, na qual os alunos puderam expressar suas dificuldades e discutir quais caminhos utilizaram e como a lista de verificação os ajudou na resolução. Como aponta Schraw (1998), existe a necessidade de um espaço de discussão e reflexão entre alunos e professores, sendo essa a 3.ª etapa da proposta aplicada nesta SEI. A discussão foi dividida em duas partes predominantes, a primeira na qual foi pedido aos alunos que pensassem e discutissem entre os pares a respeito da realização da atividade, comparando suas respostas e modos de realizarem a atividade, com os respectivos gabaritos apresentados. Na segunda parte ocorreu uma discussão de grupo em que as duplas deveriam comparar entre si como cada par de participantes fez uso da lista de verificação, os caminhos escolhidos e dificuldades encontradas. A discussão durou cerca de 15 minutos, podendo variar para mais ou menos tempo dependendo dos pontos levantados pelos alunos.

O modelo representativo foi explicado aos alunos de forma simplificada, utilizando aspectos como densidade, raio atômico e massa molar das substâncias.

Na Atividade 2 (Quadro 2), buscou-se a desestabilização do aluno, evitando assim a mecanização da forma de resolução, lançou-se um segundo problema, em que se tinha igualdade das massas das substâncias, sendo o volume diferente. O professor mostrou aos alunos porções de alumínio e cobre, cada uma delas com 3 g. Nesse momento, visualmente, os presentes observaram uma quantidade aparente de alumínio muito maior que a de cobre e, para explicar o fenômeno observado, seguiram a mesma sequência prevista na Atividade 1, com as devidas

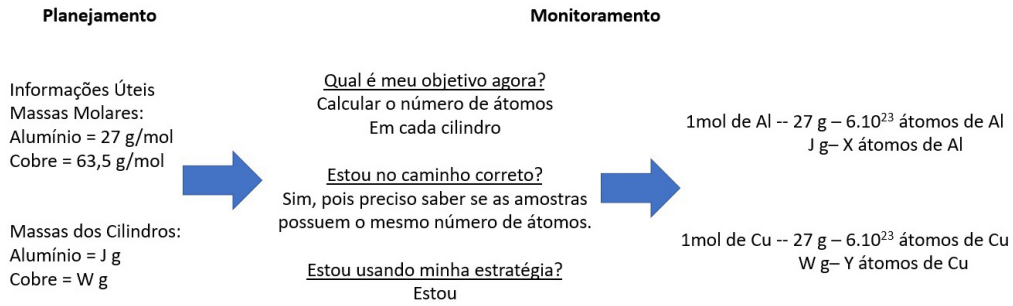


Figura 1: Processo de resolução apresentado pelo professor

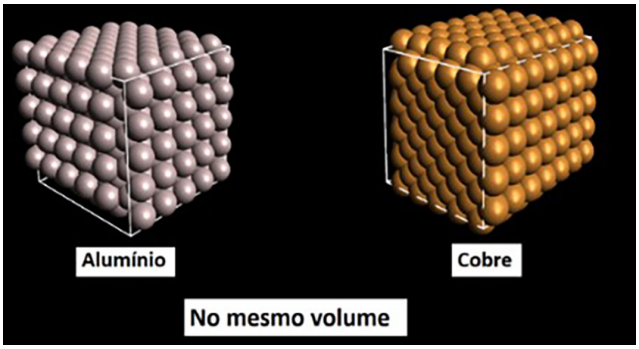


Figura 2: Modelo de um conjunto de átomos de cobre e alumínio ocupando o mesmo volume.

adaptações para a nova situação, agora envolvendo massas iguais das duas substâncias.

Optou-se por manter o mesmo esquema de questões, alterando-se somente a situação problema, e os alunos também tinham disponíveis os mesmos materiais da etapa anterior. Ao final da atividade, se iniciou novamente o processo de apresentação da possibilidade de resposta seguido de uma discussão entre as duplas e posteriormente realizada em grupo, repetindo o processo realizado na Atividade 1 (Quadro 2), sendo que o modelo de representação computacional também foi apresentado para os alunos, como consta na Figura 3.

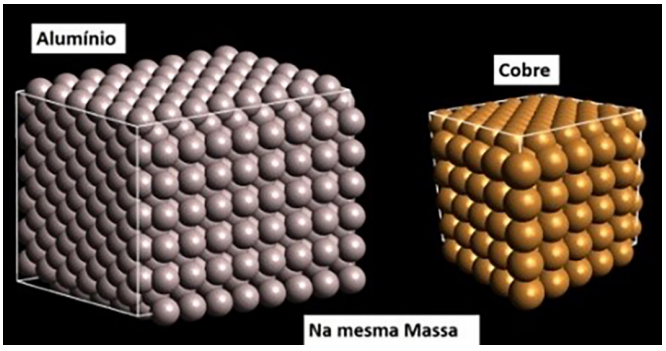


Figura 3: Modelo de um conjunto de átomos de cobre e alumínio possuindo a mesma massa.

Novamente, os conceitos discutidos para explicar a diferença de volume observado entre massas iguais das duas substâncias, cobre e alumínio, foram as diferenças entre raio atômico e densidade. Foi solicitado que os alunos comparassem a possibilidade de resposta (modelo) e a representação feita por eles, buscando diferenças e semelhanças, elencando assim, aspectos que foram considerados durante o processo de elaboração da representação (desenho dos alunos), bem como, quais aspectos e conceitos se fizeram presentes no modelo apresentado, mas não na representação feita pelas duplas.

As respostas dos grupos 1 e 2 para a questão 2 (Atividade 1) foram transcritas no Quadro 3.

Apesar do surgimento de algumas dificuldades durante o percurso de realização da SEI, todos alcançaram uma solução final acompanhada tanto dos processos matemáticos da resolução quanto de uma descrição das etapas que realizaram para a obtenção daquela resposta. Esse resultado vai

Quadro 3: Descrições das ações realizadas pelos grupos 1e 2 para responder à Atividade 1.

Grupo	Ações	
1	1.	Descobrir a massa molar de cada elemento.
	2.	Descobrir a massa dos cilindros.
	3.	Colocar as informações na fórmula para descobrir o nº de mols.
	4.	Colocar as informações numa regra de três, igualando 1 mol a $6{,}02\times10^{23}$ e 0,27/0,346 a x.
2	1.	Verificamos o Z de cada elemento (Cu e Al).
	2.	Ao pegar os dois cilindros, sentimos a diferença de peso do Cu e p/o Al.
	3.	Em seguida, fomos para balança verificar as massas dos cilindros de Cu e Al.
	4.	Na proveta com água com 7mL, e em seguida colocamos os cilindros nas provetas e verificamos que os dois possuem o mesmo volume. Porém possuem densidades diferentes.
	5.	Calculamos o número de mols relacionando a massa e o número atômico com o número definido de mols logo provamos que as quantidades de átomos são diferentes.

ao encontro dos apontamentos da pesquisa de Zimmerman (2002; 2009), que afirma que estudantes que colocam metas durante o estudo ou realização de uma atividade estão mais propensos a aumentarem sua motivação, estando assim mais propensos a concluírem as atividades propostas. Além disso, verificou-se que essas metas foram estipuladas, enquanto as duplas utilizavam as questões do Planejamento presentes na lista de verificação (Quadro 1). O fato de todos os participantes terem conseguido concluir a atividade e conseguirem elencar as etapas para obtenção da própria resposta foi atribuído, em parte, ao uso da lista de questões. Isso porque, segundo King (1991), parte do sucesso do questionamento pertence ao aspecto metacognitivo da atividade, na medida em que a lista de verificação regulatória possibilita ajudar os alunos a manterem uma verificação contínua de seu progresso.

Acredita-se que a lista regulatória também tenha auxiliado os alunos, na coleta e uso das informações disponíveis, pois foi possível coletar e identificar informações importantes, como a massa molar dos elementos e a massa das amostras. O mesmo ocorreu no estudo de Ge e Land (2003), em que a lista regulatória facilitou na resolução de problemas, pois direcionava a atenção para informações importantes presentes na tarefa.

As etapas de apresentação da resolução do professor e dos modelos representacionais foram consideradas como metacognitivas, dado que fizeram o aluno comparar sua resposta com a do professor, bem como identificar semelhanças e diferenças, realizando assim a revisão para a reconstrução do pensamento (Locatelli, 2014). Na sequência se encontra a representação produzida por uma das duplas de alunos, da Atividade 1 para a Atividade 2, como consta na Figura 4.

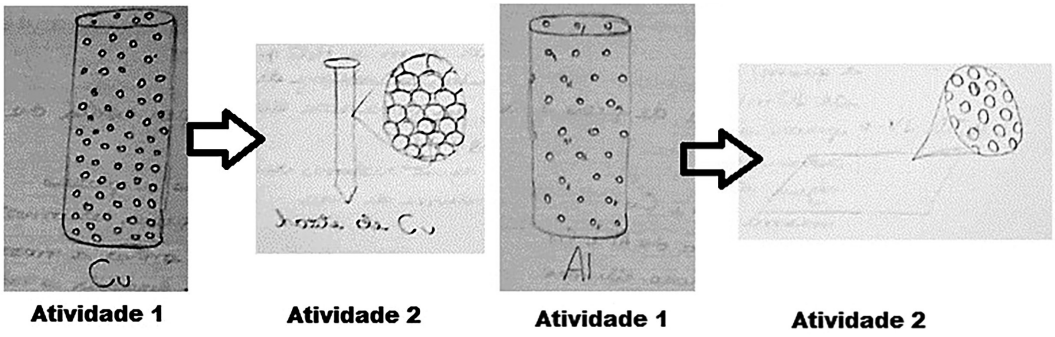


Figura 4: Representação submicroscópica de uma das duplas – representações iniciais (atividade 1) e finais (atividade 2).

Embora os alunos não tenham representado os diferentes volumes entre as amostras dos metais, é possível observar que os desenhos da Atividade 2 em comparação aos da Atividade 1, deixam mais claro a diferença de densidade entre cobre e alumínio, assim como os raios atômicos, o que pode significar uma melhora conceitual. Outras questões como ligações e a organização do reticulo cristalino, mesmo que tenham sido discutidas, continuaram não aparecendo após as discussões. O mesmo é valido para as diferenças de volume visuais entre as amostras de cobre e alumínio, que foram igualmente discutidas, mas podem ter sido desconsideradas por conta do recorte feito pelos alunos, uma vez que em suas representações para a Atividade 2 foram desenhados respectivamente um fio de cobre e uma folha de alumínio. A não existência de ligações entre os átomos, ou seja, a falta de um retículo cristalino metálico, era esperada, da mesma forma que Taber (1997) observou em seu estudo.

Aponta-se a estratégia metacognitiva do autoquestionamento em conjunto com a atividade elaborada (SEI), como uma abordagem com potencial para o ensino do conceito de quantidade de substância, uma vez que, durante sua realização e uso, foram observados o monitoramento constante do próprio pensamento e quase que na mesma medida, a confirmação desses pensamentos, possibilitando a revisão e correção dos conceitos ao longo de sua realização.

Considerações finais

Aponta-se a estratégia metacognitiva do autoquestionamento em conjunto com a atividade elaborada (SEI), como uma abordagem com potencial para o ensino do conceito de quantidade de substância, uma vez que, durante sua realização e uso, foram observados o monitoramento constante do próprio pensamento e quase que na mesma medida, a confirmação desses pensamentos, possibilitando a revisão e correção dos conceitos ao longo de sua realização. A estratégia também proporcionou aumento da motivação, pois permitiu que a dupla estabelecesse objetivos claros e percebessem seu progresso continuamente, assim como coloca a avaliação como uma etapa clara da realização da atividade.

O aumento da motivação também se deve ao caráter investigativo dado para a atividade, o que permitiu aos alunos maior contato com os materiais próprios da química e a possibilidade de decisões quanto ao rumo da tarefa proposta. Quanto ao trato com os conceitos relacionados à quantidade de substância, a atividade proporcionou etapas metacognitivas de discussão e reflexão, levando-os a reconstruírem conceitos químicos importantes.

Jadis Henrique Picirilli da Silva (jadishenrique@gmail.com), mestre em Ensino de Ciências pela UFABC, professor de química no Ensino Médio. Santo André, SP - BR. **Solange Wagner Locatelli** (solange.locatelli@ufabc.edu.br), licenciada/bacharel em Química e doutora em Ensino de Ciências pela USP, é docente da Universidade Federal do ABC, Santo André, SP - BR. **Maria Eunice Ribeiro Marcondes** (mermarco@iq.usp.br), licenciada/bacharel em Química e doutora em Química Orgânica pela USP, é docente do Departamento de Química Fundamental do IQ-USP. São Paulo, SP - BR.

Referências

DIERKS, W. Teaching the mole. *European Journal of Science Education*, v.3, n.2, p.145-158, 1981.

DUNCAN, I.M. e JOHNSTONE, A.H. The Mole Concept. *Education in Chemistry*, v.10, p.213-214, 1973.

FORDHAM, N. W. Crafting questions that address comprehension strategies in content reading. *Journal of Adolescent & Adult Literacy*, v.49, n.5, p.390–396, 2006.

FURIÓ, C; AZCONA, R.; GUISASOLA, J. e RATCLIFFE, M. Difficulties in teaching the concepts of 'amount of substance' and 'mole'. *International Journal of Science Education*, v.22, n.12, p.1285-1304, 2000.

GE, X. e LAND, S. M. Scaffolding students' problem-solving processes in an ill-structured task using question prompts and peer interactions. *Educational Technology Research and Development*, v.51, n.1, p.21–38, 2003.

IUPAC. Compendium of Chemical Terminology, 2nd ed. (the "Gold Book"). Compiled by A. D. McNaught and A. Wilkinson. Blackwell Scientific Publications, Oxford (1997). Online version (2019) created by S. J. Chalk. ISBN 0-9678550-9-8. https://doi.org/10.1351/goldbook.

KING, A. Effects of training in strategic questioning on children's problem-solving performance**.** *Journal of Educational Psychology***,** v.83, p.307–317, 1991.

LOCATELLI, S. W. *Tópicos de metacognição: para aprender a ensinar melhor*. 1ªed. Curitiba: Appris, 2014.

NAPPI, J. S. The importance of questioning in developing critical thinking skills. *International Journal for Professional Educators*. v.84, p.30-41, 2017.

OMWIRHIREN, M. Analysis of error in learning of mole concept among selected senior secondary school chemistry students in Zaria, Nigeria. *Journal of Research & Method in Education*, v.5, n.1, p.01-07, 2015.

PATE, M. e MILLER, G. Effects of regulatory self-questioning on secondary-level students' problem-solving performance. *Journal of Agricultural Education*, v.52, n.1, 2011.

RAMDASS, D. e ZIMMERMAN, B. J. Developing self-regulation skills: the important role of homework. *Journal of Advanced Academics*, v.22, n.2, p.194–218, 2011.

SCHRAW, G. Promoting general metacognitive awareness. *Instructional Science*, v.26, p.113–125, 1998.

SCHRAW, G.; CRIPPEN, K. J. e HARTLEY, K. Promoting self-regulation in science education: metacognition as part of a broader perspective on learning. *Research in Science Education*, v.36, p.111-139, 2006.

TABER, K. S. *Understanding Chemical Bonding - the development of A level students' understanding of the concept of chemical bonding*, Ph.D. thesis, University of Surrey, 1997.

WINNE, P. H. Cognition and metacognition within self-regulated learning. *Handbook of Self-Regulation of Learning and Performance Routledge*, 2018.

ZIMMERMAN, B. J. Becoming a self-regulated learner: an overview. *Theory Into Practice*, v.41, n.2, p.64-70, 2002.

ZIMMERMAN, B. J. e MOYLAN, A. R. Self-regulation: where metacognition and motivation intersect. In Hacker, D. J.; Dunlosky, J.; Graesser, A. C. (Eds.). *Handbook of Metacognition in Education*. New York: Routledge, p.299-315, 2009.

Para saber mais

SILVA, R. R. e ROCHA-FILHO, R. C. Mol, uma nova terminologia. *Química Nova na Escola*, v.1, p.12-14, 1995.

MÓL, G. S.; FERREIRA, G. A. L.; SILVA, R. R. e LARANJA, H.F. Constante de Avogadro. É simples determiná-la em sala de aula. *Química Nova na Escola*, v.3, p.32-33, 1996.

Abstract: *Inquiry-based approach to teach the concept of quantity of substance (mol).* The concept of amount of substance is one of those that is difficult for students to learn and for teachers to teach. Often, the approach to this subject is restricted to a mathematical presentation and its definition, which does not seem to be enough to make students understanding its meaning. In view of these difficulties, we proposed a metacognitive strategy for the teaching of amount of substance, carrying out an experimental activity supported by the theories of self-questioning and self-regulated learning, using materials of low cost and easy access. The activity was applied to students in a preparatory course maintained by UFABC, the results showed that the self-questioning strategy helped the students in solving the task, what seems evidence of reviewing of related chemical concepts.
Keywords: amount of substance, mole, metacognitive strategy