

Alotropia: o design didático de uma sequência de ensino e aprendizagem

Mariana da Silva Ribeiro¹, Keila Bossolani Kill²

¹Graduada em Química - Bacharelado com Atribuições Tecnológicas pela Universidade Federal de Alfenas, MG. Discente do curso de Química - Licenciatura da Universidade Federal de Alfenas, MG

 <https://orcid.org/0000-0003-1283-4945>

²Doutora em Ciências pela Universidade Federal de São Carlos - SP

²Professora na Universidade Federal de Alfenas-MG

 <https://orcid.org/0000-0002-7063-790X>

Allotropy: didactic design of a teaching learning sequence

Informações do Artigo

Recebido: 04/06/2021

Aceito: 10/05/2022

Palavras-chave:

Sequência de Ensino e Aprendizagem; Modelo; Origami; Alotropia.

Key words:

Teaching learning sequence; Model; Origami; Allotropy.

E-mail:

marianasiva.ribeiro@sou.unifal-mg.edu.br

ABSTRACT

The work reports the didactic design of a teaching learning sequence that seeks to lead students to understand the content of allotropy. For the planning, we followed the assumptions described by Mehéut and Psillos (2004): epistemic and pedagogical dimension with the basic elements: teacher, student, specific knowledge and material world. The topic selected to relate to knowledge of allotropy was nanotechnology, exemplified by carbon allotropes. We propose four activities, the first addresses carbon nanomaterials, the second considers the more specific part of the allotropy content, the third deepens the knowledge of a nanomaterial: graphene, and the last retakes the topic of nanotechnology and discusses the role of science in the production of knowledge for society. Among the resources, we highlight the use of models through the elaboration of spatial structures with the origami technique.

INTRODUÇÃO

Alotropia é um conteúdo que muitos estudantes apresentam dificuldade para compreendê-lo. Em alguns casos isso pode estar relacionado ao modo como ocorreu o ensino; em outros, pela não aprendizagem de conteúdos necessários para a sua compreensão, como por exemplo, substâncias simples, átomos, elemento químico, molécula, entre outros. Contudo, na atualidade, devido aos inúmeros materiais que fazemos uso diariamente, é fundamental o ensino de alotropia.

Essa dificuldade que os estudantes revelam em relação à aprendizagem pode estar atrelada também ao fato desse conteúdo exigir a habilidade da abstração para ser compreendido, ou seja, exigir uma interpretação que requer uma percepção tridimensional. A compreensão sobre o arranjo estrutural da representação da molécula é essencial para o entendimento das propriedades específicas do material. Outro ponto que os estudantes também revelam dificuldades está relacionado ao fato de desconsiderarem que alguns elementos químicos apresentam alótropos (SANTOS *et al.*, 2017).

Na tentativa de superar estas dificuldades e alcançar a compreensão desse conteúdo, SANTOS *et al.* (2017) propõem o uso de modelos para representar as estruturas e os arranjos das moléculas que formam as substâncias alotrópicas. Desse modo, este trabalho tem como objetivo o planejamento de uma proposta de sequência de ensino e aprendizagem-SEA para o ensino de alotropia, porém ainda não foi aplicada com os estudantes. Destacamos que o planejamento da SEA foi uma necessidade mediante o fato de não ter encontrado uma proposta para este conteúdo na literatura. Assim, visando preencher essa lacuna, este trabalho relata o design didático de uma SEA para o ensino do conteúdo de alotropia.

APORTE TEÓRICO/METODOLÓGICO

Nanotecnologia e nanociência

A nanociência se preocupa em estudar a manipulação e os fenômenos em escala atômica e molecular. Ao falar de nanotecnologia referimo-nos à dimensão nanométrica (10^{-9} metros) e é nesta escala que a nanotecnologia tem aplicação e as estruturas dos materiais são produzidas. As propriedades dos materiais são diferentes em escala maior do que a de um nanômetro (LEONEL; PERONNET, 2013).

Esta área de conhecimento vem se destacando na sociedade por contribuir na qualidade de vida e nas práticas profissionais. Os materiais nanométricos têm sido aplicados na área da saúde, por exemplo em cirurgias e exames; na área de cosmética para tratamentos estéticos; e na área de meio ambiente, por exemplo no processo de tratamento da água (TOMKELSKI; SCREMIN & FAGAN, 2019).

Considerando este vasto campo de atuação, pode-se afirmar que o conhecimento sobre as nanotecnologias e o campo da nanociência têm papel fundamental na educação visto sua relação com as questões sociais, ambientais, tecnológicas e científicas. É uma temática que possibilita o desenvolvimento de conhecimentos escolares em sala de aula, além de permitir uma formação crítica e participativa ao estudante.

Fenômeno da Alotropia

Alguns elementos químicos podem apresentar substâncias distintas com formas estruturais diferentes, ainda que estas substâncias estejam no mesmo estado de agregação da matéria. Este fenômeno recebe o nome de alotropia. Os alótropos se diferem quanto à atomicidade, isso quer dizer que têm alguns elementos químicos que formam substâncias simples distintas devido ao número de átomos que constituem a molécula (BROWN, LEMAY, BURSTEN, 2005). O elemento oxigênio, por exemplo, possui alótropos com números de átomos diferentes. Suas formas alotrópicas são as substâncias gás oxigênio ($O_{2(g)}$) e gás ozônio ($O_{3(g)}$), visto que a molécula do primeiro gás é formada por dois átomos do elemento oxigênio e a segunda por três átomos do mesmo elemento (SHRIVER, ATKINS, 2008). No caso do carbono os seus alótropos naturais são a grafite e o diamante; e os sintéticos são o nanotubo de carbono, o grafeno e o fulereno. O que difere essas formas alotrópicas é o rearranjo cristalino dos átomos de carbono na estrutura cristalina (SHRIVER, ATKINS, 2008).

Sequência de Ensino Aprendizagem (SEA)

A SEA é um conjunto de atividades desenvolvido com a finalidade de aproximar o estudante do conhecimento escolar (MÉHEUT, PSILLOS, 2004). Na elaboração da SEA, Méheut e Psillos (2004) propõem que se considere quatro segmentos básicos: o professor, o estudante, o conhecimento científico e o mundo material, os quais estão envolvidos nas dimensões epistêmica e pedagógica, conforme representado na figura 1.

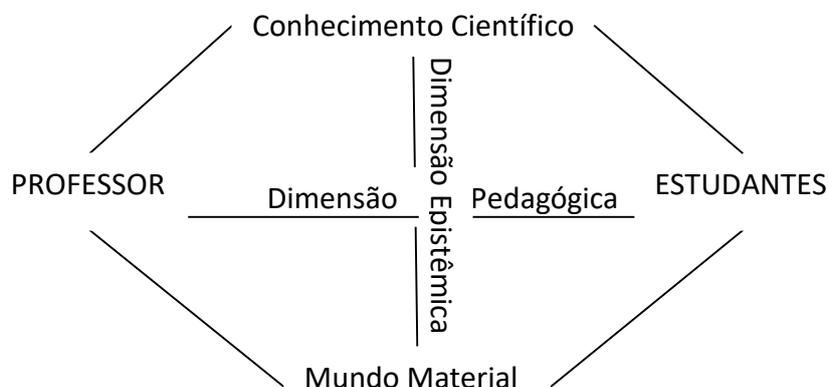


Figura 1. Representação dos quatro seguimentos básicos.

Fonte: Adaptado para o português de Méheut e Psillos (2004)

O eixo da dimensão epistêmica compreende a interconexão entre os conhecimentos científicos e o mundo material. Os conhecimentos científicos correspondem às informações relacionadas ao conteúdo em estudo, e o mundo material revela os usos e aplicações desses conhecimentos na sociedade. Agora, o eixo da dimensão pedagógica relaciona as interações professor-estudante e estudante-estudante e nele são consideradas as atividades que o professor

irá desempenhar com os estudantes, e aquelas que os estudantes irão desenvolver entre si no decorrer da aula para que ocorra a interconexão entre o conhecimento científico e o mundo material, com o objetivo de leva-los a compreenderem os conteúdos científicos escolares.

O caminho percorrido para o planejamento

Para o planejamento da SEA seguiu-se os pressupostos de Mehéut e Psillos (2004) e o tema de nanotecnologia foi escolhido devido à possibilidade de relacioná-lo com o conteúdo de alotropia. Assim, o Quadro 1 descreve, resumidamente, as relações pensadas para orientar a elaboração da sequência.

Quadro 1: Organização da SEA sobre alotropia.

SEA	Dimensão Epistêmica			Dimensão Pedagógica
	Atividade	Problemática	Objetivo	
(1) Nanoestruturas de carbono e suas aplicações.	Por que utilizar nanoestruturas de carbono com finalidades diferentes?	Conhecer as nanoestruturas de carbono e compreender suas aplicações.	Composição e estrutura dos nanomateriais.	Recursos: internet e texto de divulgação científica. Estratégia: atividade em grupo.
(2) Construção de modelos.	Por que cada material apresenta formato distinto?	Conhecer as estruturas químicas dos nanomateriais e explorar a geometria dos alótropos.	Geometria das estruturas, hibridização e alotropia.	Recursos: papel sulfite colorido, modelo e software. Estratégias: modelagem e atividade em grupo.
(3) Alótropos do carbono.	Por que o grafeno pode ser considerado um material com a tecnologia do futuro?	Compreender as propriedades do grafeno e suas potencialidades tecnológicas.	Estrutura cristalina e geometria do grafeno.	Recursos: vídeo e áudio. Estratégias: atividade em grupo e debate.

(4) A contribuição da ciência para a produção de nanomateriais.	Qual o impacto da ciência para a produção de novos materiais em escala nano?	Evidenciar as contribuições da pesquisa científica na produção de nanomateriais e os impactos disso para sociedade.	Nanomateriais e ciência.	Recurso: vídeo. Estratégia: debate.
---	--	---	--------------------------	--

Fonte: Elaborado pelas autoras.

Atividade 1 – Nanoestruturas de carbono e suas aplicações

Dimensão Epistêmica

O carbono é um dos elementos de maior abundância presente na natureza, pode ser encontrado nos combustíveis fósseis, nos seres vivos e nas minas. Por meio de ligações covalentes os átomos de carbono podem se unir e formar moléculas distintas, com propriedades diferentes. Estas propriedades decorrem da organização com que esses átomos estão arranjados nas moléculas.

Os materiais formados por átomos de carbono têm sido de grande importância para o campo de investigação da nanociência, devido às suas inusitadas propriedades físico-químicas e suas inúmeras aplicações tecnológicas. Os materiais mais explorados pela nanociência são: os nanotubos de carbono e os fulerenos (LEDESMA, 2019).

Os nanotubos de carbono (CNTs) são obtidos a partir do grafeno e apresentam importantes propriedades eletrônicas, mecânicas e ópticas. Devido à sua propriedade de ter uma baixa resistividade e uma elevada área superficial, os nanotubos de carbono são muito utilizados na área da eletroquímica (MARTÍNEZ *et al.*, 2013). Já os fulerenos (C₆₀) são obtidos a partir do grafeno, e pela sua propriedade óptica e elétrica, é utilizado em células solares de polímero-fulereno para a conversão da luz, por exemplo (KARTHIK, HIMAJA, SINGH, 2014). Um estudo demonstra a utilização deste nanomaterial para o tratamento de pacientes com câncer, uma vez que o nanoconjugado 60-fulereno-glicina possui muita resistência à quimioterapia, e não é tóxico para o paciente (OLIVEIRA, LIMA, 2021).

Podemos perceber que essas nanoestruturas de carbono são importantes para a sociedade devido ao seu vasto campo de atuação. Portanto, nesta atividade será proposto fazer uma discussão com os estudantes sobre a composição, as estruturas geométricas e as aplicações destes nanomateriais de carbono. O conhecimento decorrente da atividade pode facilitar a entendimento da importância dos nanomateriais para a sociedade, fundamentada pelo conhecimento científico escolar.

Dimensão Pedagógica

Para saber sobre os alótropos do carbono e seus usos na sociedade, os estudantes serão organizados em grupo e a tarefa que cada um deve desempenhar é a seguinte: levantar, por meio de sites de pesquisa confiáveis, as informações sobre o alótropo escolhido para o grupo (grafite, diamante, fulereno, grafeno e nanotubo de carbono), apresentar as suas aplicações na sociedade e as justificativas de uso do material para tal finalidade. Finalizada a tarefa, o grupo deve socializar os achados com a turma. Com o apoio do professor, os grupos de estudantes devem escrever uma notícia para divulgar as informações selecionadas para cada alótropo estudado. Durante a socialização o professor irá conduzir os estudantes a um posicionamento crítico, e ajudá-los na seleção das informações a serem noticiadas. Segundo Ledesma (2019), para conduzir a um posicionamento crítico, primeiro é necessário levar os estudantes a um conhecimento sobre a linguagem, os conceitos e a natureza da ciência, bem como o contexto de aplicação. Para em seguida desenvolver as habilidades de leitura, escrita e interpretação.

Atividade 2 – Construção de modelos

Dimensão Epistêmica

Os alótropos do carbono apresentam estruturas diferenciadas devido ao número de ligações entre os átomos de carbono, dando origem a uma geometria específica (MEDRANO, ROSU, GONZÁLEZ, 2012). Nestas estruturas, dependendo do número de ligação entre os átomos, pode-se ter diferentes tipos de hibridação, a saber: sp^3 (quando o carbono apresenta quatro ligações sigma σ); sp^2 (quando o carbono apresenta três ligações sigma (σ) e uma ligação pi (π)); e sp (quando o carbono apresenta duas ligações sigma (σ) e duas ligações pi (π)) (MARTÍNEZ *et al.*, 2013). Esta geometria específica é a responsável pela diferença nas suas propriedades.

A grafite, por exemplo, é formada por camadas planas de átomos de carbono. Estas camadas podem apresentar mobilidade e tornando-a um bom condutor de corrente elétrica. Assim, pode ser usada na indústria como eletrodo de células eletroquímicas. Já o grafeno é formado por uma das camadas da grafite. Ambos apresentam hibridização sp^2 . No caso do diamante, os átomos de carbono estão ligados formando um tetraedro e possui hibridização sp^3 . Devido a esta estrutura, o diamante é isolante elétrico e um sólido rígido de alta dureza (SHRIVER, ATKINS, 2008).

Desse modo, o fenômeno em que duas ou mais substâncias simples, diferentes estruturalmente entre si, são formadas de um mesmo elemento químico é chamado alotropia. Este é o caso do elemento carbono, por exemplo.

Dimensão Pedagógica

Para compreender a geometria específica da estrutura dos alótropos do carbono e relacionar com as propriedades, a proposta é a construção de modelos que as representam. O processo de modelagem sugerido utilizará da dobradura de papel, mais conhecida como origami (GARRIDO, GONZÁLEZ, 2012). A sugestão é representar as estruturas do fulereno, da grafite e do diamante, conforme o procedimento descrito pelas autoras citadas. Para a confecção dos modelos, os estudantes devem se reunir em grupo e cada membro ser responsável por uma parte da estrutura. Finalizado o modelo, o professor realizará uma explicação, com o auxílio do software ECHALK, para comparar as estruturas elaboradas pelos estudantes com aquelas apresentadas no software a fim de explorar os conhecimentos escolares relativos à geometria dos alótropos, hibridização do carbono e relacionar isso com as propriedades dos nanomateriais. Por fim, o professor, com o apoio dos recursos trabalhados, poderá levar o estudante a perceber que os modelos são formados por átomos de carbono que difere no arranjo estrutural e no número de átomos. Esta atividade pode auxiliar o estudante no entendimento do conceito de alotropia.

Atividade 3 – Alótropos do carbono

Dimensão Epistêmica

Ainda que sejam conhecidos vários alótropos do carbono, a ênfase nesta proposta é para o grafeno. É um nanomaterial que foi descoberto em 2004, quando os cientistas conseguiram isolar uma pequena quantidade de fragmentos esfoliados de grafite. Em seguida fizeram análises de caracterização e chegaram à conclusão que o material obtido continha uma única camada de átomos de carbono. A partir desta descoberta, o grafeno tem sido estudado por todo o mundo, devido às suas inúmeras propriedades, sendo elas: térmica, mecânica, elétrica e óptica (JESUS, GUIMARÃES, 2012). Considera-se que o grafeno pode ser um material que revolucionar a tecnologia do futuro, sem dizer que apresenta menos problemas de toxicidade (MEDRANO, ROSU, GONZÁLEZ, 2012).

Dimensão Pedagógica

Para levar os estudantes a compreenderem as propriedades do grafeno e sua potencialidade enquanto tecnologia do futuro, a atividade de ensino será assistir ao vídeo “Como o grafeno mudará o mundo - tudo sobre grafeno” no intervalo de 0:00 a 7:46 (<https://www.youtube.com/watch?v=l6yqJxB4uzA>). A tarefa seguinte é responder sobre a composição, o arranjo estrutural, os tipos de ligações entre os átomos de carbono e relacionar com as outras formas alotrópicas, percebendo semelhanças e diferenças. Além disso, conhecer as aplicações do grafeno e relacioná-las com suas propriedades físico-químicas. As respostas serão socializadas com a turma para que sejam consensuadas com o professor. A próxima atividade é a

gravação de um áudio de 1 minuto pelos grupos para explicar o que aprenderam sobre o grafeno e o porquê deste nanomaterial estar sendo considerado potente enquanto tecnologia do futuro. Este áudio deve ser socializado com a turma para as correções que se fizerem necessárias, pelo professor.

Atividade 4 – Nanotecnologia e desenvolvimento sociedade

Dimensão Epistêmica

Por meio de pesquisas, os cientistas chegaram à conclusão que as nanoestruturas de carbono têm papel de grande significado para a engenharia de materiais, devido às suas inúmeras aplicações como, por exemplo, a utilização como biossensores para diagnóstico na área da saúde (HAWTHORNE, BERNUCI, 2015). A nanotecnologia é a revolução do mundo nanotecnológico e científico, pois vem inovando a nossa sociedade e suas aplicações têm ajudado muito no avanço da medicina, principalmente no tratamento de pacientes com câncer. Estudos com o uso do nanoconjugado 60-fulereno-glicina têm apresentado um bom resultado, devido a sua capacidade de fotorreação. Ao ser estimulado com luz azul (LED - *Light Emitting Diode*), obteve-se uma resposta que foi possível considerar que o fulereno, mesmo em elevadas concentrações, não é tóxico. Além do que, possui capacidade de inibir a angiogênese tumoral pelo fato de provocar a inibição das metaloproteases da pessoa com câncer (OLIVEIRA, LIMA, 2021).

Dimensão Pedagógica

Com a intencionalidade de evidenciar as contribuições da pesquisa científica para a produção de nanomateriais e os impactos disso para sociedade, a proposta é um debate em dois momentos: no primeiro se abordará a transformação do conhecimento científico em produto, reconhecendo o papel da universidade neste processo; e, no segundo os efeitos da nanotecnologia para a qualidade de vida das pessoas e do ambiente. Antes do vídeo, será realizado o debate inicial com as seguintes questões: você faz uso de nanomateriais? Quais? Para qual finalidade? Você sabe como foi desenvolvido o produto que utiliza? Da fabricação à sua comercialização na sociedade? Qual o papel da pesquisa na produção dos nanomateriais? E no desenvolvimento de nanotecnologia? Qual o papel da universidade neste processo de produção? Você considera que a universidade pode gerar produtos, tecnologias e conhecimentos para a sociedade? Em seguida, a turma deve assistir ao vídeo “CTNano UFMG inaugura sede para o desenvolvimento de pesquisas em nanotecnologia” com

Rede Latino-Americana de Pesquisa em Educação Química - ReLAPEQ

duração de 3:59 minutos (<https://www.youtube.com/watch?v=Mmzxa1D3Qxo>). Na sequência, o que se propõem é um debate para argumentar sobre as questões a seguir: o que o vídeo revela sobre o papel da universidade? E da pesquisa na produção de novos materiais? Que nanomateriais foram citados no vídeo e qual sua aplicabilidade na sociedade? A sociedade se beneficia do conhecimento produzido pela universidade? A pesquisa pode gerar produtos, processos, tecnologias e inovação para sociedade? Comente sobre a frase: "é um retorno da universidade para a sociedade e evidencia o conhecimento sendo transformado em produto que pode melhorar a qualidade de vida das pessoas e do ambiente". Nesta atividade o professor pode contrapor as repostas dos estudantes antes e depois do vídeo, levando-os a construção de um posicionamento crítico sobre o papel da universidade na sociedade.

DISCUSSÃO

Com o objetivo de planejar uma SEA para o ensino de alotropia, visando considerar a tridimensionalidade e espacialidade no processo de compreensão do conteúdo de alotropia, decidimos por escolher um tema da atualidade: nanoestruturas de carbono e suas aplicações. Ao considerar a importância dos nanomateriais derivados do carbono pela aplicabilidade de seus produtos na sociedade, a escolha desse tema pode ser justificada.

A SEA foi organizada em 4 atividades, como mostra o Quadro 1 e, até o momento, não foi aplicada em sala de aula. A primeira atividade aborda os nanomateriais de carbono, propriedades e uso; a segunda considera a parte mais específica do conteúdo: hibridização, geometria e alotropia; a terceira busca aprofundar nos conhecimentos de um dos nanomateriais de carbono: o grafeno; e a última faz uma retomada do tema com o objetivo de debater perspectivas futuras sobre novos materiais e o papel da universidade na produção de conhecimentos que podem se tornar produtos para a sociedade.

Na atividade 2, o processo de construção dos modelos e a comparação com o modelo apresentado pelo software tem a intencionalidade de melhorar a noção de tridimensionalidade e espacialidade do estudante e, com isso, contribuir com o desenvolvimento do pensamento abstrato. Estes fatores são essenciais para o entendimento do fenômeno de alotropia que se espera que seja compreendido pelos estudantes com a sequência sugerida nas atividades da SEA. A seguir detalharemos sobre a etapa de modelagem.

Para a confecção do modelo dos alótropos do carbono, por exemplo, seguimos o modelo do trabalho de Garrido e González (2012) que propõe o uso do origami. Esta técnica de dobradura, segundo as autoras, é a habilidade de fazer dobras convenientes no papel de modo a formar determinados seres ou objetos. No caso dos modelos que representam alguns dos alótropos do carbono chamaremos de papiromoléculas, como elas sugerem. As papiromoléculas têm como estrutura básica um tetraedro que representa um átomo de carbono. Desse modo, o modelo que

representa o átomo de carbono foi construído com o papel Post-it® recortado no tamanho 6 x 6 cm, conforme descrito no artigo. Para a construção do modelo da grafite, do diamante e do fulereno seguiu-se a estrutura trigonal plana, tetraédrica e piramidal, respectivamente, conforme Figura 2.

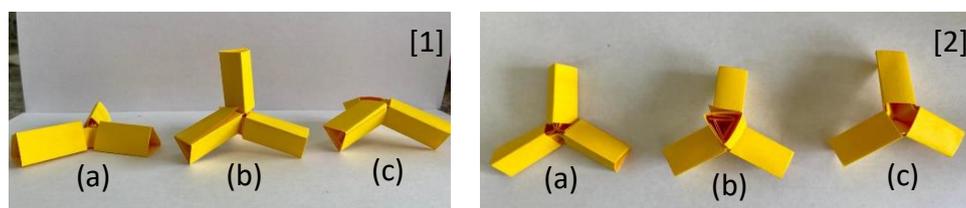


Figura 2: Modelo de representação do átomo de carbono para (a) a grafite, (b) o diamante e (c) o fulereno. Vista frontal [1] e superior [2].

Para a representação da estrutura do fulereno, utilizou duas cores de papéis, no qual a cor amarela representa a dupla ligação do anel aromático e a vermelha representa a ligação simples (Figura 3).

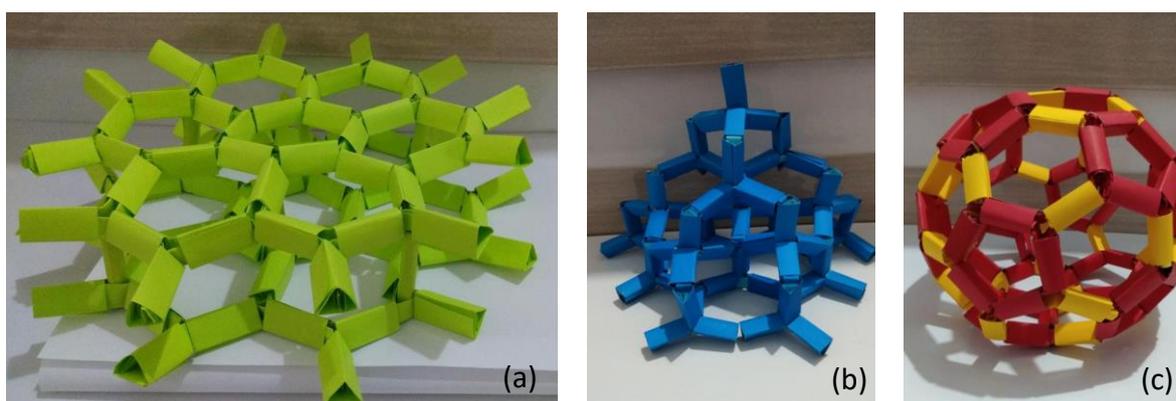


Figura 3: Modelo de representação da grafite (a), do diamante (b) e do fulereno (c).

Na sequência de atividades o eixo da dimensão epistêmica compreende à interconexão entre os conhecimentos científicos (geometria, composição e propriedades físico-químicas dos alótropos do carbono) e o mundo material em que se abordou a aplicação dos diferentes nanomateriais para a sociedade. O que possibilita inter-relacionar os conhecimentos científicos e o mundo material é o planejamento da dimensão pedagógica, pois para isso considera-se a seleção de recursos como, por exemplo, o uso de vídeo e áudio e de estratégias, como por exemplo, a produção de texto de divulgação dos conhecimentos assimilados pelos estudantes.

Os debates das atividades 3 e 4 foram recursos pensados para aprofundar os conhecimentos de um dos alótropos do carbono: o grafeno e, também, retomar uma discussão sobre o papel da ciência na produção de conhecimentos e produtos para a sociedade.

Como forma de evidenciar os quatro segmentos básicos: o professor, o estudante, o conhecimento científico e o mundo material, envolvidos nas dimensões epistêmica e pedagógica foi elaborado o Quadro 2, que sintetiza o design de uma SEA para o conteúdo de alotropia.

Quadro 2: Sequência de atividades diferenciando a dimensão epistêmica da dimensão pedagógica.

Atividade 1		
Dimensão Epistêmica		
Conhecimento científico	Professor-Estudante Estudante-Estudante	Mundo Material
Do grafeno obtém-se nanotubo de carbono e fulereno que, devido às suas propriedades físico-químicas, têm aplicações tecnológicas.	Informar sobre as características dos diferentes nanomateriais formados pelos alótropos carbono e seus usos na sociedade.	O fulereno é utilizado em células solares e para tratamento de pacientes com câncer e o nanotubo de carbono é utilizado para a fabricação de transistores e memória de computador na indústria eletrônica.
Dimensão Pedagógica		
Atividade 2		
Dimensão Epistêmica		
Conhecimento científico	Professor-Estudante Estudante-Estudante	Mundo Material
Hibridização do carbono, geometria e alotropia.	Construção dos modelos que representam os alótropos do carbono, comparação com o software para o estudo da hibridização e geometria das estruturas e o entendimento de alotropia.	A grafite possui um arranjo hexagonal formado por camadas planas de grafeno. Devido a isso pode ser usada na indústria como eletrodo de células eletroquímicas.
Dimensão Pedagógica		

Atividade 3		
Dimensão Epistêmica		
Conhecimento científico	Professor-Estudante Estudante-Estudante	Mundo Material
Grafeno, aplicações e propriedades mecânicas, térmicas e ópticas.	Debate sobre o vídeo que trata das potencialidades do grafeno e gravação áudio pelos estudantes para socializar as informações sobre o nanomaterial e suas perspectivas para o futuro.	O grafeno é um nanomaterial utilizado para eletrodos flexíveis e transparentes devido a suas propriedades mecânicas, térmicas e de elevada condutividade.
Dimensão Pedagógica		
Atividade 4		
Dimensão Epistêmica		
Conhecimento científico	Professor-Estudante Estudante-Estudante	Mundo Material
As nanoestruturas de carbono tem papel de grande significado para a engenharia de materiais e a nanotecnologia é a revolução do mundo tecnológico e científico	Estudo dirigido sobre o vídeo que trata das potencialidades do grafeno enquanto tecnologia do futuro.	As nanoestruturas de carbono são utilizadas como biossensores e a nanotecnologia tem ajudado muito no avanço da medicina, principalmente no tratamento de pacientes com câncer.
Dimensão Pedagógica		

Fonte: Elaborado pelas autoras.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O objetivo do planejamento de uma proposta de sequência de ensino e aprendizagem para o ensino de alotropia foi contemplado com as quatro atividades descritas e seguiram a

Rede Latino-Americana de Pesquisa em Educação Química - ReLAPEQ

fundamentação apresentada no estudo de Méheut e Psillos (2004). Assim, a estrutura da SEA foi pautada nos elementos conhecimento científico e mundo material ao se referir à dimensão epistêmica; e professor-estudante ou estudante-estudante ao abordar a dimensão pedagógica.

Para cada atividade planejou-se a articulação entre as dimensões epistêmicas e pedagógica de modo que o mundo material pudesse revelar o conhecimento científico, ou seja, o conhecimento relativo ao mundo material, por exemplo, as aplicações do alótropos de carbono seriam compreendidas à medida que o estudante tivesse o entendimento das propriedades físico-químicas destes alótropos.

Referências

BROWN, T.L.; LEMAY, H.E.; BURSTEN, B.E. **Química**: a ciência central. 9ª ed. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2005, 992 p.

GARRIDO, B.G.; GONZÁLEZ, M.B. El origami como recurso en el estudio de la química: modelos de papiroflexia de los alótropos del carbono. **IV Jornades sobre l'Ensenyament de la Física i la Química**, p. 53-59, 2012. Disponível em: <<https://publicacions.iec.cat/repository/pdf/00000183/00000071.pdf>> Acesso em 31 mai. 2021.

HAWTHORNE, G.H.; BERNUCI, M.P. Relação da Nanotecnologia com as práticas médicas atuais e suas possíveis implicações futuras. **Saúde e pesquisa**, v. 8, p. 79-91, 2015. Disponível em: <<https://periodicos.unicesumar.edu.br/index.php/saudpesq/article/view/3759>> Acesso em 31 mai. 2021.

JESUS, K.A.; FREIRE, E.; GUIMARÃES, M.J.O.C. Grafeno: aplicações e tendências tecnológicas. **Revista de Química Industrial**, v. 80, n. 737, p. 14-19, 2012. Disponível em: <<https://www.abq.org.br/rqi/2012/737/RQI-737-pagina14-Grafeno-Aplicacoes-e-Tendencias-Tecnologicas.pdf>> Acesso em: 11 ago. 2021.

KARTHIK, P.S.; HIMAJA, A.L.; SINGH, S.P. Carbon-allotropes: synthesis methods, applications and future perspectives. **Carbon Letters**, v. 15, n. 4, p. 219-237, 2014. Disponível em: <<http://koreascience.or.kr/article/JAKO201433150758009.page>> Acesso em 11 ago. 2021.

LEDESMA, J.M. La comunicación de la nanotecnología del carbono como una herramienta para impulsar el pensamiento crítico en la educación química preuniversitaria. **Mundo Nano**, v. 12, n. 22, p. 1-33, 2019. Disponível: <<http://www.scielo.org.mx/pdf/mn/v12n22/2448-5691-mn-12-22-00002.pdf>> Acesso em 20 jun. 2021.

LEONEL, A.A.; PERONNET, R.S.R. Nanociência e nanotecnologia: do debate público à sala de aula. In: Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências (ENPEC), 9., 2013, Águas de Lindóia. **Atas...** Disponível em: <http://abrapecnet.org.br/atas_enpec/ixenpec/atas/resumos/R0495-1.pdf> Acesso em 30 jun. 2021.

MATÍNEZ, L.M.P. *et al.* Nanotubo e grafeno: os primos mais jovens na família do carbono! **Química**, v. 37, n. 128, p. 21-27, 2013. Disponível em: <<https://core.ac.uk/download/pdf/153409868.pdf>> Acesso em 10 jul. 2021.

MÉHEUT, M.; PSILLOS, D. Teaching–learning sequences: aims and tools for science education research. **International Journal of Science Education**, v. 26, n. 5, p. 515-535, 2004. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/248975128_Teaching-learning_sequences_Aims_and_tools_for_science_education_research_International_Journal_of_Science_Education_265_515-652> Acesso em 11 ago. 2021.

MEDRANO, M.G.M; ROSU, H.C; GONZÁLEZ, L.A.T. Grafeno: el alótropo más prometedor del carbono. **Acta Universitaria**, v. 22, n. 3, p. 20-23, 2012. Disponível em: <<http://www.actauniversitaria.ugto.mx/index.php/acta/article/view/381>> Acesso em 11 ago. 2021.

OLIVEIRA, A.M.B; LIMA, B.S.S. Nanomedicina: aplicações no diagnóstico e no tratamento do câncer. **Revista Saúde e Meio Ambiente**, v. 12, n. 1, p. 84-101, 2021. Disponível em: <<https://periodicos.ufms.br/index.php/sameamb/article/view/12363>> Acesso em 09 mai. 2021.

REBELO, G. A.F. *et al.* Nanotecnologia, um tema para o ensino médio utilizando a abordagem CTSA. **Química Nova na escola**. v. 34, n. 1, p. 3-9, 2012. Disponível em: <http://qnesc.sbq.org.br/online/qnesc34_1/02-QS-79-10.pdf> Acesso em 09 mai. 2021.

SANTOS, M.A.D *et al.* Modelagem no ensino de Alotropia. In: Congresso Nacional de Educação (CONEDU), 4., 2017, Campina Grande. **Anais IV CONEDU...** Campina Grande: Realize Editora, 2017 Disponível em: <<https://editorarealize.com.br/artigo/visualizar/37466>> Acessado em 11 ago. 2021.

SHRIVER, D.F.; ATKINS, P.W. **Química Inorgânica**. 3ª ed. Porto Alegre: Bookman, 2003, 816 p.

TOMKELSKI, M.L; SCREMIN, G; FAGAN, S.B. Ensino de nanociência e nanotecnologia: perspectivas manifestadas por professores da educação básica e superior. **Ciência & Educação**, v. 25, n. 3, p. 665-683, 2019. Disponível em: <<https://www.scielo.br/j/ciedu/a/gcj5z4jRF87JbCZDqPTvNyq/?lang=pt&format=pdf>> Acesso em 30 jun. 2021.

RESUMO

O trabalho relata o design didático de uma sequência de ensino e aprendizagem que busca levar os estudantes ao entendimento do conteúdo de alotropia. Para o planejamento seguimos os pressupostos descritos por Mehéut e Psillos (2004): dimensão epistêmica e dimensão pedagógica com os elementos básicos: professor, estudante, conhecimento específico e mundo material. O tema nanotecnologia foi selecionado para relacionar com os conhecimentos de alotropia, exemplificado pelos alótropos do carbono. Propomos quatro atividades, a primeira aborda os nanomateriais de carbono, a segunda considera a parte mais específica do conteúdo de alotropia, a terceira aprofunda os conhecimentos de um nanomaterial: o grafeno, e a última faz uma retomada do tema de nanotecnologia e discute o papel da ciência na produção

de conhecimento para a sociedade. Dentre os recursos, destacamos o uso de modelos por meio da elaboração de estruturas espaciais com a técnica do origami.

Palavras chave: sequência de ensino e aprendizagem; modelo; origami; alotropia.

RESUMEN

El trabajo reporta el diseño didáctico de una secuencia enseñanza-aprendizaje que busca llevar a los estudiantes a comprender el contenido de la alotropía. Para la planificación se siguieron los supuestos descritos por Mehéut y Psillos (2004): dimensión epistémica y dimensión pedagógica con los elementos básicos: docente, alumno, conocimiento específico y mundo material. El tema de la nanotecnología se seleccionó para relacionarlo con el conocimiento de la alotropía, ejemplificado por los alótropos de carbono. Proponemos cuatro actividades, la primera aborda los nanomateriales de carbono, la segunda considera la parte más específica del contenido de alotropía, la tercera profundiza el conocimiento de un nanomaterial: el grafeno, y la última retoma el tema de la nanotecnología y discute el papel de la ciencia en la producción de conocimiento para la sociedad. Entre los recursos, destacamos el uso de modelos a través de la elaboración de estructuras espaciales con la técnica del origami.

Palabras clave: secuencia de enseñanza y aprendizaje; modelo; origami; alotropía.