

**USANDO ANALOGIAS PARA LECIONAR SOBRE O ÁTOMO NAS AULAS DE QUIMICA GERAL NO ENSINO SUPERIOR****José Arão<sup>a,\*</sup>, Laurinda Leite<sup>b</sup> e Emília Nhalevilo<sup>c</sup>**<sup>a</sup>Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Licungo, Beira, Moçambique<sup>b</sup>Instituto de Educação, Universidade do Minho, 4710-057 Braga, Portugal<sup>c</sup>Universidade Púnguè, Moçambique

Recebido em 20/07/2021; aceito em 28/10/2021; publicado na web em 30/11/2021

USING ANALOGIES TO TEACH ABOUT THE ATOM IN HIGHER EDUCATION GENERAL CHEMISTRY CLASSES. Chemistry deals with concepts associated with non-observable entities. Using analogies may facilitate the learning of such concepts, including the atom. In this study, we investigated the analogies that two chemistry teachers used when teaching about the atom at two Mozambican universities. These analogies were characterized and the reasons that led teachers to use analogies were analyzed. Teachers were observed when teaching about the atom and they were interviewed afterwards. Both teachers used different amounts of analogies, which focused on the Thomson and the Rutherford models. Almost all the analogies, that were created and used spontaneously, showed a lack of internal consistency, which may reduce their didactical value and even make them inducing incorrect ideas in the students. Teachers stated that they would start planning the use of analogies in their classes. If they are to do this properly, they need training that integrates two components: analogies and chemistry.

Keywords: analogies; atom; atomic structure; initial teacher education; Mozambique.

**INTRODUÇÃO**

Uma analogia é uma comparação entre dois domínios do conhecimento, um que é familiar ao sujeito e outro que lhe é desconhecido ou não familiar,<sup>1-3</sup> mas que o sujeito pretende conhecer ou deveria compreender. Em termos gerais, numa analogia existe uma relação entre um elemento pertencente ao domínio familiar, também chamado domínio base, veículo, fonte ou análogo, e um elemento correspondente ao domínio não familiar, também designado por domínio desconhecido ou de destino ou alvo.<sup>1,4-7</sup>

Numa analogia, o análogo compartilha alguns aspetos com o alvo, que podem ter a ver tanto com aspetos superficiais, como com aspetos profundos, nomeadamente estruturais, funcionais ou outros.<sup>8</sup> Se o análogo não for familiar ao sujeito, a analogia não será compreendida, não facilitará a compreensão do alvo e, conseqüentemente, não promoverá a aprendizagem.

Em muitas publicações de educação em ciências, o termo analogia é usado como se fosse sinónimo de metáfora.<sup>9</sup> Na verdade, e como afirmam Gentner *et al.*,<sup>10</sup> as metáforas e as analogias são ambas baseadas em comparações entre domínios diferentes. No entanto, elas distinguem-se em dois aspetos.<sup>11</sup> Por um lado, uma metáfora afirma que A é B (ex.: o átomo é o sistema solar) e uma analogia afirma que A é como B (ex.: um átomo é como o sistema solar); por outro lado, numa metáfora, as comparações são implícitas, enquanto que, numa analogia, as comparações são explícitas. Assim, em contextos de aprendizagem, as analogias têm mais probabilidade de serem objeto do entendimento desejado do que as metáforas.

As analogias aparecem também associadas a modelos. Um modelo é uma representação material (ou física) ou mental de uma ideia, um objeto ou um processo.<sup>12</sup> Tal como Coll *et al.*<sup>13</sup> constataram, os professores usam modelos para explicarem, aos estudantes, conteúdos não observáveis e/ou abstratos.<sup>1,14</sup> Os modelos, por um lado, simplificam uma realidade complexa e, por outro lado, representam (com um maior ou menor grau de aproximação) a

realidade, nomeadamente quando pouco se conhece sobre ela.<sup>14,15</sup> Com base em modelos, os cientistas fazem previsões, elaboram e testam hipóteses, descrevem, interpretam e explicam fenómenos e formulam questões a respeito do mundo.<sup>12,16</sup> parte dos modelos requer o estabelecimento de uma comparação entre o modelo e a realidade que ele representa, pelo que um modelo, nessas condições, pode ser considerado um modelo análogo.<sup>17</sup>

A investigação mostra que há algumas condições a que as analogias devem obedecer para que a aprendizagem com analogias resulte. Algumas dessas condições são as que se seguem:

- a) o análogo deve ser mais familiar ao aluno, pelo que, na seleção do domínio base, deve dar-se preferência a situações do quotidiano do aluno;<sup>1</sup>
- b) os elementos da analogia devem ser representados através de imagens,<sup>1</sup> as quais devem ser corretas e fáceis de entender;
- c) o análogo e o alvo, apesar de não serem iguais, não devem ser demasiado diferentes,<sup>18</sup> de modo a evitar que o sujeito rejeite liminarmente a possibilidade de existência de uma relação entre eles;
- d) os alunos devem aceitar as semelhanças entre os dois domínios ou entre elementos deles,<sup>19</sup> o que requer que os entendam e que os considerem comparáveis.

Ainda que a seleção de uma analogia seja criteriosa, o seu efetivo papel educativo depende sempre do modo como é entendida pelo aluno, entendimento esse que depende de vários fatores, alguns deles intrínsecos à própria analogia e outros relativos ao aluno e ao seu contexto.

O uso de analogias no ensino de ciências pode apresentar alguns riscos<sup>1,20</sup> associados: à própria analogia, por ela poder não representar fielmente o objeto ou a realidade a comparar; ao professor, pela forma como este a apresenta aos alunos; aos manuais escolares (ME), pela forma como eles apresentam e/ou representam a analogia; ao estudante, pela forma como a interpreta.

Quando se usa analogias, e uma vez que o domínio base (e os seus elementos) e o domínio de destino (e seus elementos) apresentam semelhanças, mas não são iguais, é importante que os intervenientes

\*e-mail: matovaarao2007@gmail.com

(designadamente, professores e alunos) conheçam e/ou descubram essas diferenças,<sup>21</sup> que se traduzem em limitações da analogia, para evitarem (ou, pelo menos minimizarem) os potenciais riscos decorrentes das diferenças entre os dois domínios.

A investigação<sup>1,11,22</sup> mostra que as analogias são reconhecidas como um recurso didático útil pelos currículos e ou pelos programas de diversos países. Na mesma linha, os manuais escolares (ME),<sup>1,5,23</sup> incluindo os moçambicanos,<sup>24</sup> recorrem a analogias, embora nem sempre o façam da melhor forma. Por outro lado, as analogias são usadas em muitas salas de aula, por iniciativa de professores e de alunos,<sup>1,25</sup> designadamente de química,<sup>25</sup> embora, por vezes, sejam inadequadamente formuladas e/ou exploradas.

A química centra-se no nível sub-microscópico, lida com o não observável, recorrendo, por isso, a evidências indiretas, e trabalha com vários tipos de representação,<sup>26,27</sup> desde o macroscópico ao sub-microscópico e ao simbólico,<sup>28,29</sup> pelo que as analogias podem desempenhar um papel fundamental no seu ensino e aprendizagem, desde que se reconheça as limitações que podem apresentar e se atue em conformidade. Isso mesmo foi constatado por Rahayu e Sutrisno,<sup>30</sup> quando compararam os resultados obtidos por alunos de química que usaram analogias para aprender sobre equilíbrio químico (conteúdo que envolve diversos níveis de representação) com os de alunos que não as usaram.

Para uma utilização educacionalmente bem-sucedida de analogias não basta os professores terem vontade de as usar, mas é, antes, preciso que tenham uma formação adequada para as utilizarem em contexto didático, de modo a poderem conduzir adequadamente as discussões<sup>17</sup> e a tomarem consciência que as analogias não devem ser usadas como uma mera explicação alternativa de conceitos difíceis, pois, frequentemente, as analogias são mais evidentes para quem as usa do que para quem as recebe.<sup>31</sup>

No entanto, alguns estudos baseados em observação de aulas<sup>17,31</sup> sugerem que os professores usam analogias de uma forma espontânea e não planificada, sem terem consciência de que estão a usar esse recurso didático ou confundindo analogias com outros recursos didáticos, como exemplos, modelos e outros.

Nesse contexto, os objetivos deste estudo foram os seguintes: caracterizar as analogias sobre o átomo e a estrutura atómica que professores de química geral utilizavam nas aulas que lecionavam na licenciatura em ensino de química; e compreender as razões e o modo como os professores em causa usavam as analogias nessa disciplina de química do ensino superior universitário.

## METODOLOGIA

A consecução do primeiro objetivo do estudo (que é parte de uma investigação mais abrangente descrita em Arão<sup>24</sup> exigia recolha dados por observação de aulas, pois, segundo McMillan e Schumacher,<sup>32</sup> a observação é a técnica que informa sobre o que os professores realmente fazem. Essa técnica, para além de requer bastante tempo, exige autorização para entrar na sala de aula do professor observado. Por essas razões, convidou-se apenas dois professores (P1 e P2), um de cada universidade, para participarem neste estudo. Um dos professores era doutor (P1) e outro era mestre (P2) em química e eram eles que, normalmente, lecionavam química geral na respetiva universidade. Foram observadas e gravadas em áudio as 11 aulas de 60 minutos que, sobre o átomo e a estrutura atómica, lecionaram os dois professores (P1 lecionou 6 aulas e P2 lecionou 4 aulas). Refira-se que, segundo os programas da disciplina de Química Geral, o conteúdo em causa deveria ser lecionado em oito aulas de 60 minutos cada, o que significa que os professores gastaram menos tempo do que o curricularmente previsto para a abordagem do tema.

A gravação em áudio (meio menos intrusivo do que o vídeo) não perturbava o normal decurso das aulas e permitia o registo do discurso para posterior análise das analogias usadas pelos professores. A observação centrou-se: no número de analogias; nos conteúdos químicos de incidência das analogias; no conteúdo do análogo utilizado; nos pontos fortes e fracos das analogias.

Para alcançar o segundo objetivo, ou seja, para perceber por que razão e como os professores usavam analogias, por que o faziam de determinada forma e como as selecionavam, recorreu-se ao inquérito por entrevista, concretizado através de uma entrevista semiestruturada, que foi áudio-gravada. Ela foi realizada na universidade em que cada professor trabalhava e, tal como recomendam McMillan e Schumacher,<sup>32</sup> num lugar em que estava apenas o investigador e o entrevistado. As respostas dos entrevistados foram sujeitas a análise de conteúdo, centrada num conjunto de aspetos, procedimento que, como defendem Bogdan e Biklen,<sup>33</sup> reduz a subjetividade da análise e facilita a comparação entre os professores. Para o efeito, considerou-se o objetivo de cada pergunta e procurou-se, nas respostas de cada entrevistado, a passagem que continha informação relacionada com o mesmo, identificaram-se as ideias subjacentes a cada uma dessas passagens e compararam-se as mesmas para os dois entrevistados. A fim de sustentar as interpretações efetuadas, na secção seguinte serão apresentados pequenos extratos das entrevistas dos quais emergiram as referidas interpretações.

## APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

No que concerne ao uso de analogias, durante as aulas observadas, constatou-se que ambos os professores recorreram a analogias, mas verificou-se uma grande diferença entre os números de analogias usadas pelos dois professores. Nas aulas gravadas (seis do P1 e quatro do P2) constatou-se que o professor P1 usou 17 analogias em 417 minutos (o que dá uma média de uma analogia em cada 24,5 minutos) e o professor P2, em 218 minutos, apresentou cinco analogias (o que dá uma média de uma analogia em cada 43,6 minutos).

Os dois professores usaram, durante a lecionação do conteúdo em causa, uma única analogia comum (analogia de pudim de passas/bolo de passas), constante no manual escolar (ME) de química da autoria de Barros (2014), que era adotado (à data de recolha de dados) nas escolas secundárias moçambicanas. Acresce que, das restantes 16 (das 17) analogias usadas pelo professor P1 e as restantes quatro (das cinco) analogias apresentadas pelo professor P2, algumas podem ser encontradas em livros didáticos em uso em outros países (ex.: sistema planetário, esfera maciça, bola que desce rampa e escadas, planeta terra girando em torno do sol, saída de um asteroide da sua órbita), mas outras parecem ter sido criadas pelos mesmos, pois não se conheciam, não se encontraram na literatura revista, nem em ME e não foram referidas pelos professores de didática entrevistados num estudo realizado por Arão<sup>24</sup> sobre a formação em analogias facultada a futuros professores moçambicanos de química.

Nas Tabelas 1 a 5 sintetizam-se as 17 analogias usadas pelo professor P1 nas aulas em que foi observado a lecionar conteúdos sobre o átomo e a estrutura atómica, as quais recorrem a uma diversidade de análogos (comportamentos do ser humano ou de seres não humanos, corpos celestes, alimentos e objetos diversos), cuja natureza foi considerada para agrupar as analogias nas referidas tabelas. Em cada tabela, a par com a síntese das analogias, é apresentada, também, a análise das diversas analogias, a qual resulta do respetivo mapeamento, seguindo a metodologia proposta por Ferry.<sup>8</sup>

A fim de ilustrar o mapeamento efetuado, transcreve-se a apresentação, verbal, da analogia 10, tal como foi apresentada pelo professor P1 em uma das aulas observadas:

**Tabela 1.** Síntese das analogias usadas pelo professor P1 e que usam o ser humano e seus comportamentos como análogo

Analogia	Conteúdo a lecionar	Pontos fortes da analogia	Pontos fracos da analogia
8-Extremidade de uma corda que um homem faz girar em torno de si, com um raio fixo /movimento dos elétrons em torno do núcleo, num dado nível de energia	Movimento dos elétrons em níveis energéticos bem definidos	Relaciona: - um homem com o núcleo - extremidade livre da corda com elétron - movimento circular da extremidade livre da corda com movimento de um elétron em um dado nível de energia	- Os estudantes podem pensar que, da mesma forma que o homem para de girar a corda, quando se cansa, e esta cai, os elétrons podem parar de girar em volta do núcleo e cair sobre ele, o que não acontece - A extremidade da corda está materialmente ligada ao homem, mas os elétrons não estão materialmente ligados ao núcleo - A extremidade da corda move-se num plano e os elétrons de um dado nível energético movem-se no espaço, numa espécie de coroa circular - A extremidade da corda está a uma distância fixa do homem, mas os elétrons de um dado nível energético movimentam-se a diferentes distâncias do núcleo, que apenas em média são fixas
10-Pessoa que, por ficar nervosa, foge da sua casa e vai para a casa da mãe, e que regressa sua casa depois de baixar os nervos /excitação e passagem do elétron para nível mais energético e posterior desexcitação e regresso ao estado fundamental	Consequências da absorção e da posterior libertação de energia por um elétron	Relaciona: - pessoa com elétron - pessoa nervosa com elétron excitado - casa da pessoa com nível energético correspondente ao estado fundamental - casa da mãe com nível energético correspondente a estado excitado - nervos levam a pessoa a ir para casa da mãe, assim como um quantum de energia causa a subida de nível energético do elétron - o acalmar da pessoa e o seu regresso a casa, com a desexcitação e o regresso do elétron ao estado fundamental	Os estudantes podem pensar que: - da mesma forma que a casa tem existência material, real, as orbitais têm uma existência real - da mesma forma que a pessoa poderia parar algures entre a sua casa e a casa da mãe, o elétron poderia ficar algures entre os dois níveis energéticos Enquanto que se infere o que se passa em casa da mãe, não se sabe o que se passa no estado excitado
12-Companheiro de viagem que sai de lugar inseguro /elétron que sai do estado excitado	Estado excitado do elétron	Relaciona: - companheiro de viagem (uma pessoa) com elétron - lugar inseguro com estado em que o elétron se encontra quando excitado - casa onde o companheiro da viagem se refugia com orbital onde o elétron está no estado fundamental	- Os estudantes podem pensar que, tal como o lugar inseguro tem existência real, as orbitais têm uma existência real - O companheiro tem vontade e sentimentos próprios e o elétron não tem
15-Comportamento inconstante de menina possuída por espírito quando entra na igreja universal/ emissão descontínua de energia pelo átomo	Quantificação da energia no átomo	Relaciona: - menina possuída por espírito mau com átomo - espírito com elétron - entrada na igreja universal com excitação do elétron - comportamento inconstante da menina possuída por espírito mau, com emissão descontínua de energia pelo átomo	- Os estudantes não entendem a relação entre a igreja universal e o comportamento inconstante da menina com espírito mau - O comportamento da menina com espírito mau depende do espírito mau
17-Dar pontapé ao estudante/ fornecer um quantum de energia ao elétron	Efeitos do fornecimento de um quantum de energia ao elétron	Relaciona: - estudante com elétron - pessoa que dá pontapé com fonte de energia - pontapé com fornecimento de um quantum de energia ao átomo	- Nem sempre um pontapé eleva a pessoa, contrariamente ao que como acontece com o elétron que recebe um quantum de energia; - Os estudantes podem imaginar que o quantum, tal como o pontapé, é coisa material

“Imagina quando um individuo fica zangado você continua ainda definitivamente zangado? O que se sucede depois de algum tempo. Depois de algum tempo você volta ao estado natural, você respira fundo de alívio. Assim também acontece quando o elétron sai do estado fundamental ao estado excitado

com absorção de quantum de energia e volta ao seu estado fundamental com emissão de quantum de energia que havia absorvido. Quer dizer que a senhora ficou nervosa, ficou excitada saiu e foi a casa da mãe e depois de baixar os nervos ela voltou a sua casa o que corresponde a emissão de quantum

**Tabela 2.** Síntese das analogias usadas pelo professor P1 e que usam seres não humanos como análogo

Analogia	Conteúdo a lecionar	Pontos fortes da analogia	Pontos fracos da analogia
11-Regresso do hipopótamo ao rio/ regresso do elétron ao estado fundamental	Emissão de energia por elétron que regressa ao estado fundamental	Relaciona: - rio com orbital correspondente ao estado fundamental do elétron - hipopótamo com elétron - regresso do hipopótamo ao rio com o regresso do elétron ao estado fundamental	- Nem todos estudantes conhecem a relação do hipopótamo com o rio - O hipopótamo tem vontade própria e necessidades fisiológicas e o elétron não tem
16-Movimento errático de fantasma/ localização do elétron na orbital	Localização do elétron na orbital	Relaciona: - fantasma com elétron - movimento do fantasma com movimento do elétron - localização de um fantasma em um dado espaço real com localização do elétron numa orbital	- Nem todos estudantes conhecem como se movimenta um fantasma - Alguns estudantes podem atribuir aos elétrons características humanas ou outras, consoante o fantasma

**Tabela 3.** Síntese das analogias usadas pelo professor P1 e que usam corpos celestes como análogo

Analogia	Conteúdo a lecionar	Pontos fortes da analogia	Pontos fracos da analogia
4-Sistema planetário/ Átomo segundo Rutherford	Modelo atômico segundo Rutherford	Relaciona: - o sistema planetário com o átomo - o sol com o núcleo do átomo - os planetas que giram em volta do sol com os elétrons que giram em volta do núcleo	Os estudantes podem pensar que: - da mesma forma que o sol tem temperaturas elevadas, o núcleo do átomo pode ter temperaturas elevadas - os elétrons têm trajetórias fixas
13-Planeta terra girando em torno do sol/elétron girando em volta do núcleo	Movimento dos elétrons	Relaciona: - planeta terra com elétron - movimento da terra em torno do sol com movimento de um elétron em volta do núcleo	Os estudantes podem inferir que: - dado que o sol tem temperatura elevada, o núcleo do átomo tem temperatura elevada - tal como os planetas, os elétrons têm trajetórias fixas
14-Saída de um asteroide da sua órbita/saída do elétron do átomo de hidrogénio	Formação do ião de hidrogénio	Relaciona: - asteroide com o elétron de um átomo de hidrogénio - órbita do asteroide com órbita do elétron - saída do asteroide da sua órbita com saída do elétron do átomo de hidrogénio	Os estudantes podem não conhecer: - asteroides, por não fazerem parte do seu dia a dia - não saber como os asteroides se movimentam

**Tabela 4.** Síntese das analogias usadas pelo professor P1 e que usam alimentos como análogo

Analogia	Conteúdo a lecionar	Pontos fortes da analogia	Pontos fracos da analogia
1-Diferentes frutos/átomos de diferentes elementos	Átomos de diferentes elementos químicos	Relaciona: - abacaxi com átomo do elemento A - limão com átomo do elemento B - diferenças entre o sabor do abacaxi e do limão com diferenças entre átomos de elementos diferentes	- O professor explicitou uma característica que diferencia os frutos, mas não explicita aspetos que diferenciam os átomos - Os estudantes podem pensar que, tal como o abacaxi e o limão, átomos de diferentes elementos: - têm sabores diferentes - têm superfície externas irregulares e diferentes
3-Pudim de passas/ Átomo segundo Thomson	Modelo atômico segundo Thomson	Relaciona: - pudim de passas com átomo - passas com elétrons - massa do pudim com massa do átomo	- O pudim de passas não faz parte da realidade do estudante. - As passas estão em repouso enquanto que os elétrons estariam em movimento

de energia e regresso ao estado fundamental onde a energia é baixa.” (P1)

O mapeamento dessa analogia (Tabela 6) evidencia as correspondências entre elementos do domínio alvo e do domínio análogo (E1, E2 e E3), a correspondência entre mudanças de

comportamento desses elementos [E2 ( $r_1$ ) e E1 ( $r_2$ )] e as relações entre relações no domínio alvo e relações no domínio análogo [A1(E1)]. Esses aspetos são importantes quando se usa analogias que são complexas e que, como decorre do que foi escrito na primeira parte do texto, precisam de ser bem explicitadas para poderem ser devidamente entendidas. O mapeamento das analogias permite, também, obter

**Tabela 5.** Síntese das analogias usadas pelo professor P1 e que usam objetos diversos como análogo

Analogia	Conteúdo a lecionar	Pontos fortes da analogia	Pontos fracos da analogia
2-Esfera maciça/átomo segundo Dalton	Átomo segundo Dalton	Relaciona: - uma esfera maciça com um átomo	- Os estudantes podem pensar que o átomo é compacto e rígido como a esfera maciça
5-Perda de velocidade de um pêndulo /Perda de energia de um elétron	Perda de energia faz com que o elétron caia no núcleo	Relaciona: - pêndulo com elétron - movimento do pêndulo com movimento do elétron em torno do núcleo - perda de velocidade do pêndulo com perda de energia do elétron	O professor não explicita de que pêndulo se trata pelo que os alunos podem pensar: - que se refere a um pêndulo simples (movimento de vai e vem) - que o movimento dos elétrons não é circular, em volta do núcleo
6-Bola que desce rampa e que desce escadas/ Emissão contínua e descontínua de energia pelo elétron	Emissão de energia por elétron que se move entre o estado excitado e o estado fundamental	Relaciona: - uma bola com um elétron - bola a rolar em rampa, com perda contínua de energia pelo elétron - queda da bola pelas escadas com descida de nível energético por parte do elétron	Os estudantes podem imaginar que o nível energético de um átomo tem uma existência real, como as rampas e as escadas
7-Duas bolas de bilhar (bola verde e bola amarela) /fotão de raios-x e elétron	Interação do fóton de raios-x com o elétron	Relaciona: - bola de bilhar verde com o fóton de raios-x - bola de bilhar amarela com o elétron - choque entre as duas bolas de bilhar com choque entre fóton de raios-x e o elétron	- As bolas de bilhar têm o mesmo tamanho, o que não acontece com fóton de raios-X e o elétron - As bolas de bilhar têm massa e forma bem definida, o que não acontece com o fóton de raios-x - Os estudantes podem pensar que o fóton de raios-x e o elétron têm diferentes cores, como acontece com as bolas de bilhar
9-Movimento das extremidades das pás de uma ventoinha em torno do centro/movimento de elétron em torno do núcleo	Movimento dos elétrons em níveis energéticos bem definidos	Relaciona: - centro da pá da ventoinha com o núcleo do átomo - pás da ventoinha com elétrons - movimento das extremidades das pás com movimento dos elétrons num dado nível energético - constância do raio da ventoinha em movimento com constância da distância de um elétron, em movimento num dado nível energético, ao núcleo	- A distância da extremidade da pá da ventoinha ao seu centro é única, mas no átomo há níveis de energia a diferentes distâncias do núcleo - A extremidade da pá da ventoinha está materialmente ligada ao centro, mas os elétrons não estão materialmente ligados ao núcleo

Fonte: elaborado pelos autores.

**Tabela 6.** Mapeamento estrutural da analogia usada por P1 para lecionar as consequências da absorção e da posterior libertação de energia por um elétron

Domínio análogo	Correspondência	Domínio alvo
Pessoa	E1 	Elétron
Casa da pessoa	E2 	Nível energético relativo ao estado fundamental
Casa da mãe da pessoa	E3 	Nível energético relativo a estado excitado
Pessoa nervosa	E2 (r <sub>1</sub> ) 	Elétron excitado
Nervos que levam a pessoa a ir para casa da mãe	A1(E1) 	Um quantum de energia que causa a subida de nível do elétron
Acalmamento da pessoa e seu regresso a casa	E1(r <sub>2</sub> ) 	Desexcitação e regresso do elétron ao estado fundamental

Fonte: elaborado pelos autores. E1 – elementos um; E2 - elemento dois e E3 - elemento três. r<sub>1</sub> e r<sub>2</sub> – relação um e relação dois respetivamente. A1- atributo um.

informação sobre a consistência interna das analogias, na medida em que obriga a explicitar os elementos que constituem cada analogia e as relações que entre eles se estabelecem, facilitando a análise da validade científica e pedagógica das relações estabelecidas entre o(s) elemento(s) considerado(s) alvo(s) e o(s) considerado(s) análogo(s). Os pontos fracos que emergiram do mapeamento das analogias são

evidências da respetiva inconsistência interna.

A análise apresentada nas Tabelas 1 a 5 mostra que a maior parte das analogias usadas pelo professor P1 têm potencialidades e limitações, o que é concordante com resultados obtidos por outros autores.<sup>11,21,34</sup> Contudo, esse tipo de análise não parece ter sido, nem mesmo implicitamente, efetuado pelo professor antes de usar

as analogias nas suas aulas. Na verdade, embora tenha tentado apresentar algumas descrições para facilitar a compreensão das analogias (por exemplo, na analogia 10, descreveu o que sucede com o elétron excitado e depois da desexcitação, relacionando-o com o comportamento da pessoa nervosa e depois de estar calma), tal como aconteceu no estudo realizado por Kim *et al.*,<sup>21</sup> P1 não considerou pertinente ou não conseguiu apresentar as potencialidades e as limitações das analogias usadas. Essa omissão pode levar os estudantes a estabelecer relações concetuais pouco apropriadas com o conceito em causa e, até, a construir ideias erradas sobre os conceitos que P1 queria ensinar. Na verdade, mais de um terço das analogias usadas por esse professor envolviam comparações do átomo e de partículas subatómicas com o ser humano e seus comportamentos (ex.: as analogias 8, 10, 12, 15 e 17) ou com animais ou seres imaginários (ex.: a analogia 11 e a analogia 16) ou com corpos celestes e seus movimentos (ex.: as analogias 4, 13 e 14), com alimentos, como frutas e suas características (ex.: as analogias 1) ou pudim de passas (ex.: analogia 3) e com objetos de natureza diversa (ex.: as analogias 2, 5, 6, 7 e 9). Como foi referido

anteriormente e como Akaygun, *et al.*<sup>22</sup> reconhecem, esse tipo de comparações pode ser problemático, pois os estudantes podem fazer uma transferência indevida de características e comportamentos do ser humano, de animais ou dos corpos celestes para o átomo e para as partículas subatómicas.

Note-se que as analogias apresentadas por P1 eram analogias verbais, não tendo o professor recorrido, em nenhum caso, a elementos visuais (imagens) ou gráficos (esquemas), os quais, como referem Dourado *et al.*; Vasconcelos e Arroio<sup>35,36</sup> podem ajudar os alunos a fazer a transição do domínio macroscópico (do dia a dia) para o sub-microscópico (da Química).

A Tabela 7 apresenta as analogias que foram usadas pelo professor P2 nas aulas observadas e a respetiva análise resultante de um mapeamento semelhante ao explicitado na Tabela 2.

A análise das analogias apresentada na Tabela 7 resultou do mapeamento estrutural das diversas analogias utilizadas por P2, nas suas aulas. A fim de ilustrar esse mapeamento, transcreve-se a apresentação, verbal, da analogia 1 pelo professor P2:

**Tabela 7.** Síntese das analogias usadas pelo professor P2 nas aulas observadas

Analogia	Conteúdo a lecionar	Pontos fortes da analogia	Pontos fracos da analogia
1-Transição forçada de ano/ transição do elétron para nível energético mais alto	Terceiro postulado de Bohr	Relaciona: - mudança indevida do estudante para ano curricular seguinte com a mudança do elétron para nível energético mais alto - efeito sobre a mudança do ano escolar de um estudante com efeito de energia fornecida ao elétron para saltar para nível energético mais alto	- A passagem indevida para um ano seguinte nem sempre se deve a um agente externo (como a agitação dos outros estudantes), podendo dever-se ao facto de o próprio estudante não acatar as recomendações da Universidade para respeitar uma dada sequência
2-Pudim de passas/Átomo segundo Thomson)	Modelo atómico segundo Thomson	Relaciona: - passas com eletrões - massa do pudim com massa do átomo	- O pudim de passas não faz parte da vida do estudante - As passas estão em repouso enquanto que os eletrões estariam em movimento
3-Variação da força do aperto de mão entre duas pessoas com a distância entre elas /variação da atração entre núcleo e eletrões com a distância ao mesmo	Efeito de blindagem do núcleo pelas camadas eletrónicas interiores	Relaciona: - uma das pessoas com o núcleo - uma pessoa com um elétron - força com que as duas pessoas próximas apertam a mão com força com que o núcleo atrai os eletrões próximos dele - força com que de duas pessoas distantes apertam a mão com força com que o núcleo atrai os eletrões distantes dele	- Os estudantes podem pensar que, tal como acontece com as pessoas, o núcleo e os eletrões possuem mão - Enquanto que entre núcleo e eletrões distantes há outros eletrões, entre duas pessoas distantes não há outras pessoas
4-Embriagar para retirar dinheiro/ fornecer energia para retirar elétron	Energia de ionização dos átomos dos diversos elementos químicos	Relaciona: - mulher que fornece álcool a um homem com fonte que fornece energia a um elétron - um homem com um elétron - embriagar um homem com fornecer energia a um elétron - a extração de um elétron do átomo com a retirada de dinheiro do ATM	Os estudantes podem imaginar que: - como o homem bebe álcool, os átomos “bebem” energia - a energia, tal como o álcool, é algo material - a energia entra no átomo tal como o álcool entra no homem
5-Força do homem em relações sexuais consecutivas / energia de sucessivas ionizações	Energia de ionização da 1ª, 2ª e 3ª ordem	Relaciona: - força do homem com valor da energia de ionização - força do homem na 1ª, 2ª e 3ª relação sexual com energia de ionização de 1ª, 2ª e 3ª ordem - variação da força do homem em relações consecutivas com variação da energia de ionizações consecutivas	- Não explicita o modo como varia a energia de ionização da ordem 1 até à ordem 3. - A força do homem vai diminuindo (segundo o professor) enquanto que a energia de ionização vai aumentando, da 1ª para a 3ª ordem

Fonte: elaborado pelos autores.

“[...] significa que se você está no segundo ano, é influenciado com forças externas para você saltar para o terceiro ano, sem completar o segundo ano, quando te descobrirem lá que você está irregularmente no terceiro ano, serás devolvido para o seu ano, mas terá que perder todas cadeiras que você fez no terceiro ano. Isso acontece com elétron, quando ela recebe energia externa ele salta para nível mais alto de energia, mas quando cessa o fornecimento de energia ele regressa para o nível mais baixo onde ele se encontrava e é para ele nível real e fica estável” (PA2).

Na Tabela 8 apresenta-se o mapeamento desta analogia, o qual evidencia as correspondências entre elementos do domínio alvo e do domínio análogo (E1 e E2) e a correspondência entre mudanças de comportamento desses elementos (E1 ( $r_1$ ) e E1 ( $r_2$ )), aspecto importante quando se usa analogias.

Da análise apresentada na Tabela 3, constata-se que, tal como se verificou no caso de P1, todas as analogias usadas pelo professor P2 têm potencialidades e limitações. Contudo, nas aulas, P2 limitou-se, tal como P1, a apresentar as analogias, sem as explorar para evidenciar as suas potencialidades e limitações, o que é especialmente grave quando as analogias estão, elas próprias, erradas. Isto acontece com a analogia 5, em que a relação deveria ser oposta da apresentada, sendo que, além disso, essa analogia, pelo análogo a que recorre, pode ferir a sensibilidade de algumas pessoas, o que a torna inadequada. Na verdade, essa analogia demonstra machismo e desprezo pelas mulheres, o que pode fazer as estudantes sentir-se desconfortáveis nas aulas e até desmotivá-las da aprendizagem da química. Note-se ainda que, com exceção da analogia 2, as analogias utilizadas comparam o átomo ou os seus elementos com pessoas ou com comportamentos de pessoas. Essa incidência pode ser problemática pois, segundo Treagust *et al.*,<sup>37</sup> os estudantes podem ser tentados a transferir o comportamento humano para o átomo e para os respetivos elétrons, o que não ajuda na aprendizagem.

Conhecidas as analogias utilizadas e pelos problemas importava compreender por que razão usavam este recurso didático. Apesar dos problemas identificados nas analogias observadas nas respetivas aulas, quando entrevistados, ambos os professores afirmaram que usavam analogias quando, durante as aulas, sentiam que os alunos precisavam de uma ajuda para aprender, o que, à luz dos resultados da investigação<sup>20</sup> faz sentido. Como refere um dos professores, essa necessidade pode depender do nível cognitivo dos alunos:

“Eu frequentemente faço isso durante a aula. Porque tudo emerge, tudo aparece durante a aula, o problema meu e na minha opinião o uso da analogia só tem sentido quando se descobre que o aluno não percebe o que quero ensinar. Olha que eu não preciso usar analogia se o nível cognitivo dos estudantes é bom se eles entendem logo a primeira não uso

uma analogia. Basta ver que eles já vêm com uma bagagem suficiente para o assunto que eu pretendo tratar, uma bagagem inicial muito boa e prontos nós conseguimos avançar, notamos logo que o estudante não tem muitos problemas, mas quando são assuntos complexos nós notamos logo de imediato, então aí, a tendência é de logo de imediato eu passar a usar uma analogia. Veja que isso só acontece durante as aulas. Agora uma preparação previa uma programação previa, não digo que não tenho feito isso, as vezes isso pode acontecer, mas geralmente isso acontece durante a aula.” (P1).

Contrariamente ao que a investigação recomenda, mas tal como foi constatado por Rahayu e Sutrisno; Maharaj-Sharma-Sharma e Sharma; Ramos *et al.*,<sup>30,38,39</sup> as analogias são utilizadas pelos professores de modo não planeado como e sem que o seu uso seja explicitado,<sup>40</sup> uma vez que fazem um uso espontâneo das mesmas:

“Não explícito, por causa dessa espontaneidade, mas se isso fosse organizado seria fácil eu dizer para eles. [...] se eu planificasse diria que compare isso com aquilo, porque eu tinha um plano de que chegado a um momento da minha aula iria usar uma comparação. Então se você não programa, não há necessidade e é muito difícil você dizer a eles que está a usar analogia porque você nem tem segurança do que diz.” (P2);

De um modo geral, algumas analogias eram criadas pelos próprios professores, entre outros porque, como refere P1, algumas analogias incluídas em livros de química são usadas pelos professores, mas são de má qualidade e isso tem consequências negativas para os alunos:

[...] Os professores usam as analogias que aparecem em muitos livros e os professores buscam essas analogias sem verificar alguns erros que elas apresentam e levam a sala de aula para fazer entender os estudantes. O que acontece é que as vezes os alunos ficam mais confusos por não entenderem a própria analogia, portanto é preciso ter muito cuidado.” (P1).

Note-se que, nas aulas observadas, os professores usaram uma analogia retirada de um ME em uso em Moçambique e algumas outras existentes em livros utilizados em outros países, embora o possam ter feito de modo inconsciente. Efetivamente, a investigação tem mostrado que as analogias incluídas em ME apresentam, de facto, pouca qualidade<sup>31,41</sup> e que isso prejudica os alunos.<sup>41-44</sup>

Esses professores afirmaram que já tinham ouvido falar de analogias, através de leituras (P1) e no mestrado realizado (P2). No entanto, são foram capazes de dar uma definição completa do conceito de analogia. Na verdade, e tal como haviam constatado Farias *et al.*,<sup>45</sup> em estudos semelhantes, limitaram-se a dizer que uma analogia é uma comparação, sem explicarem como deve ser efetuada

**Tabela 8.** Mapeamento estrutural da analogia usada por P2 para lecionar o terceiro postulado de Bohr

Domínio análogo	Correspondência	Domínio alvo
Estudante	E1 ←→	Elétron
Efeito dos colegas sobre a mudança do ano escolar de um estudante	E2 ←→	Efeito de energia fornecida ao elétron para saltar para nível energético mais alto
Mudança indevida do estudante para ano curricular seguinte	E1 ( $r_1$ ) ←→	Mudança do elétron para o nível energético mais alto
Devolução do estudante ao ano anterior	E1 ( $r_2$ ) ←→	Regresso do elétron ao estado fundamental

Fonte: elaborado pelos autores.

essa comparação (P1), e que deve usar aspetos do contexto do aluno, sem mencionarem a necessidade de ela estabelecer uma relação entre o domínio alvo e o domínio análogo:

“A comparação de dois tipos de conhecimentos onde um é conhecido e o outro não é conhecido.” (P1);  
“[...] Entendo que analogia é fazer entender ao estudante, um conteúdo, mas usando aquilo que é do seu domínio dele ou o que com ele convive para poder explicar aquilo um assunto para o mesmo estudante [...]” (P2).

Essas ênfases parciais mantiveram-se quando os professores foram questionados sobre o que consideravam ser uma boa analogia, tenho, contudo, acrescentado que a analogia deve ajudar a compreender o assunto ou a atingir os objetivos da aula:

“Uma boa analogia tem que tentar explicar aquilo que não se conhece de acordo com a definição que eu dei, um conhecimento que não é conhecido e nós buscamos através de um outro familiar que é conhecido para entender o outro que não é conhecido para que uma pessoa possa entender perfeitamente o significado de um outro que não é conhecido a partir do outro.” (P1);

“Bom, eu estaria satisfeito se eu tivesse feito uma analogia ou tivesse apresentado um análogo daquilo que levasse o estudante a perceber aquilo que antes ele não percebeu, o que quer dizer que a analogia deve concretizar o objetivo da aula. Para mim poderia dizer que estou satisfeito ou valeu a apenas usar essa analogia, trazer um conceito real e o aluno aprender conceito abstrato e fazer com que o estudante entenda de facto aquilo que eu quero que ele entenda. Então essa é uma boa analogia.” (P2).

Note-se que, uma vez que uma boa analogia deve explicitar as comparações entre o domínio alvo e o domínio análogo, especificar a validade das comparações que apresenta e envolver um análogo que seja familiar ao aluno,<sup>31,46</sup> essas definições estão incompletas, não referindo um dos aspetos chave: as limitações das analogias. No entanto, ambos os professores reconhecem potencialidades e limitações no uso de analogias para ensinar química. No que concerne às potencialidades, reconhecem que melhoram o entendimento de entidades muito pequenas, invisíveis, e que não são usadas no quotidiano (P1) e que facilitam a aprendizagem de conceitos abstratos e difíceis, uma vez que assentam na explicitação de relações entre algo conhecido e algo que não se vê (P2):

“São vários exemplos, quando queremos explicar conceitos de átomo, conceitos de átomo, misturas, conceitos de níveis de energia, quando fazemos analogia os alunos conseguem fazer uma ligação e entender daquilo que não é conhecido com aquilo que é conhecido e eles passam a entender esses conceitos de níveis, corpúsculos, então nós usamos muito esses conceitos.” (P1).

“Apresenta, porque elas são um recurso que nos ajuda a clarificar os conceitos que não são de fácil compreensão por serem também abstratos e que os alunos têm dificuldades de entender. No contexto de ensino é mais fácil levar o estudante a aprender com base naquilo que está vendo. Por exemplo quando se quer explicar o conceito de orbital, pode se comparar o movimento da ventoinha como orbital, aí não se vê os pás da ventoinha mas sabemos que eles estão naquela

região. Também a orbital ‘e a região de maior probabilidade de se encontrarem os eletrões.’” (P2).

Os professores justificam as suas opiniões sobre as potencialidades das analogias no contexto do ensino de química com base em ideias aceites por especialistas da área ex.: Rodriguez & Towns; Jonane; Ferraz & Terrazan.<sup>46-48</sup> No entanto, no que respeita às limitações, das analogias, apenas um dos professores (P2) explicou a sua opinião, afirmando, em concordância com a literatura,<sup>49</sup> que, se o uso das analogias não for bem planificado, elas podem conduzir a resultados indesejados, porque o aluno pode não as interpretar do modo que o professor pretendia:

“De facto existe um momento em que falta atenção do professor e este apresenta analogias pouco claras relativos a determinados conteúdos, é necessário muito atenção de enquadrar as analogias e ver a capacidade que o aluno tem em entendê-la devidamente [...], é um pouco complicado apresentar espontaneamente uma analogia e sair-se bem, mas se se apresenta algo que planificou com cuidado ela pode apresentar produzir o efeito desejado.” (P2).

Finalmente, afirmaram que não enfrentavam dificuldades no ensino com base em analogias na disciplina de química geral, mas que iriam passar a planificar o seu uso. No entanto, enquanto P2 não explicou por que razão iria passar a fazer isso, o professor P1 afirmou que não enfrentava dificuldades porque, quando escolhia analogias, tinha em conta os conhecimentos prévios dos alunos e escolhia as analogias a utilizar em função dos mesmos. Segundo esse professor, esse cuidado faz com que as analogias não criem dificuldades aos estudantes:

“Não. Por força de hábito sempre usamos analogias, e então não se enfrenta muitas dificuldades porque para escolher uma analogia deve se ter em conta o que o aluno conhece que se relaciona com os conteúdos que quero dar. As vezes depende da natureza dos estudantes, há uns que facilmente entendem as analogias apresentadas e há outros que precisam mais de explicação quando usamos as analogias. Isso depende do tipo de estudantes que aparecem com nível cognitivo diferente, aí nós podemos ter certas dificuldades, mas não tanta dificuldade assim para o entendimento.” (P1).

O facto de o professor P1 ter usado muitas analogias e ter afirmado que não enfrentava dificuldades quando apresentava analogias nas aulas pode fazer pensar que os seus alunos aprenderam mais sobre o tema em causa do que os de P2. No entanto, e apesar de haver evidências de que os alunos gostam de analogias,<sup>30</sup> decorre do que foi dito anteriormente que a ocorrência, ou não, de aprendizagem com base em analogias não depende linearmente da quantidade das analogias usadas, mas mais da qualidade delas e do modo como são utilizadas, fatores que, como defendem Kim *et al.*,<sup>21</sup> dependem da formação para o uso de analogias contextos específicos. Ora apesar de terem ouvido falar de analogias, nenhum dos professores tinha tido formação formal em analogias, tendo o professor P1 afirmado que ia fazendo autoformação, durante a preparação das suas aulas. Acresce que, não existindo mecanismos de monitorização da autoformação, não se pode dispor de dados sobre a sua eficácia e efeito no ensino da Química Geral.

## CONCLUSÕES E IMPLICAÇÕES

Este artigo relata um estudo em que se investigou a utilização de

analogias por dois professores de química geral de duas universidades moçambicanas para ensinar sobre átomo e estrutura atômica. Constatou-se que ambos os professores usaram analogias, embora em quantidades diferentes. Algumas dessas analogias constavam dos ME de química que estavam em uso nas escolas moçambicanas e em livros didáticos de química de outros países, mas outras analogias os professores criavam para lecionarem os referidos conceitos. Constatou-se, também, que todas as analogias apresentavam pontos fracos e eram usadas de forma espontânea e não planejada. O estudo sugere que os professores pareciam não ter consciência desse facto, pois eles afirmaram não tinham dificuldades na utilização desse recurso didático. Assim, os professores parecem ter consciência das limitações das analogias existentes nos manuais escolares, mas não das limitações das que eles próprios criam.

A utilização espontânea de analogias, observada em outras investigações,<sup>17,31</sup> é problemática, pois pode levar ao uso de analogias erradas ou ao uso pouco cuidado de analogias com limitações e à consequente indução de ideias erradas nos alunos. É positivo o facto de os dois professores terem manifestado disponibilidade para mudarem as suas práticas em relação ao uso de analogias, mas essa mudança de comportamento, para surtir o efeito desejado, e como recomendam Orgill *et al.*,<sup>49</sup> deve ser acompanhada por formação para o uso de analogias no ensino de química.

Tendo sido programada a observação de aulas para verificar o tipo de analogias que os professores de química geral usavam, uma das atividades que poderia ter sido realizada tinha a ver com o estudo das analogias que os estudantes criavam para os conceitos em estudo e, especificamente, para o conceito do átomo e estrutura atômica. Estudar essas analogias poderia não só ajudar a entender o que os alunos pensam sobre o átomo, mas também ajudar a adquirir uma ideia sobre a adequação das analogias que foram usadas pelos professores. Analogias que foram recolhidas neste estudo poderão constituir um excelente material a utilizar com professores em formação, de modo a prepará-los para usarem adequadamente analogias para ensinar conceitos difíceis de química<sup>46,50</sup> e a adotarem uma atitude mais crítica face às analogias incluídas em manuais escolares que, como investigação realizada por Akcay; Gonçalves e Julião<sup>43,51</sup> sugere, nem sempre são adequadas.

Como a consistência interna de uma analogia depende do alvo (no caso átomo e estrutura atômica), do análogo (factos e fenómenos do dia a dia) e da(s) relação(ões) estabelecida entre eles, a formação para o uso de analogia precisa de integrar, entre outros, conhecimentos sobre analogias e sobre química e aprendizagem da química, a fim de evitar o uso de analogias que reforcem ou provoquem aprendizagens indesejadas. A organização dessa formação é urgente, e, provavelmente, deve abranger professores de outras universidades, de química geral e de outras disciplinas de química, pois os resultados da investigação disponível, aliados aos obtidos neste estudo, sugerem que a utilização espontânea de analogia parece ser uma prática algo generalizada e o uso inadequado de analogias em cursos de formação inicial de professores pode, adicionalmente, levar os estudantes a, no futuro, usarem nas suas aulas as analogias incorretas que os seus professores utilizaram. Note-se que a informação recolhida neste estudo pode permitir organizar melhor essa formação, pois fornece alguns elementos que realçam a necessidade de o conteúdo da analogia atender ao contexto cultural em que os professores trabalham. Finalmente, refira-se que a preparação dessa formação deve ser muito cautelosa e cuidada, para ser eficaz e capaz de motivar pessoas que podem não estar muito convencidos que precisam dela, reação espectável por parte de professores, em especial de professores do ensino superior.

## AGRADECIMENTOS

À Universidade Pedagógica e à Universidade Licungo, de Moçambique, pela concessão da bolsa de estudos que permitiu ao primeiro autor realizar um doutoramento de que faz parte esta investigação.

Ao Centro de Investigação em Educação, Instituto de Educação, Universidade do Minho (UIDB/01661/2020 e UIDP/01661/2020) que cofinanciou o trabalho, através de fundos nacionais da FCT/MCTES-PT.

## REFERÊNCIAS

- Duit, R.; *Sci. Educ.* **1991**, 75, 649.
- Dager, Z.; *J. Res. Sci. Teach.* **1995**, 32, 259.
- Gentner, D.; Holyoak, K. J.; *Am. Psychol.* **1997**, 52, 32.
- Gentner, D.; *Cogn. Sci.* **1983**, 7, 155.
- Curtis, R. V.; Relgeluth, C. M.; *Instr. Sci.* **1984**, 13, 99.
- Glynn, S.; *Psychol. Learn. Sci.* **1991**.
- Nagem, R. L.; Carvalhaes, D. D. O.; Teixeira, J.; *Rev. Port. Educ.* **2001**, 14, 197.
- Ferry, A.; *Tese de Doutoramento*, Universidade Federal de Minas Gerais, Brasil, 2016.
- Glynn, S.; *Sci. Child.* **2007**, 44, 52.
- Gentner, D.; Bowdle, B. F.; Wolff, P.; Boronat, C. In *The analogical mind: Perspectives from cognitive science*; Gentner, D., Holyoak, K. J., Kokinov, B. N., eds.; MIT Press: Cambridge, 2001, p. 199.
- Aubsson, P. J.; Harrison, A. G.; Ritchie, S. M. In *Metaphor and Analogy in Science Education*; Aubusson, P. J., Harrison, A. G., Ritchie, S. M., eds.; Springer: Dordrecht, 2006.
- Gilbert, J.; Boulter, C.; Elmer, R.; In *Constructing Worlds through Science Education*; Gilbert, J.; Boulter, C., Eds.; Kluwer: Dordrecht, 2000.
- Coll, R. k.; France, B.; Taylor, I.; *Int. J. Sci. Educ.* **2005**, 27, 183.
- Chassot, A.; *Rev. Bras. Educ.* **2003**, 89.
- Araújo, R. S.; Malheiro, J. M. S.; Teixeira, O. P. B.; *Quim. Nova na Esc.* **2015**, 37, 16.
- Gilbert, J.; Treagust, D.; *Multiple Representations in Chemical Education*, Springer: Dordrecht, 2009.
- Harrison, A. G.; De Jong, O.; *J. Res. Sci. Teach.* **2005**, 42, 1135.
- Stavy, R.; Tirosh, D.; *International Journal of Mathematical Education in Science and Technology* **1992**, 23, 239.
- Souza, V. C.; Justi, R. da S.; Ferreira, P. F.; *Investigação em Ensino Ciências* **2006**, 11, 7.
- Şendur, G.; Toprak, M.; Pekmez, E. Ş.; *Procedia Comput. Sci.* **2011**, 3, 307.
- Kim, M.; Kim, S.; Noh, T.; *J. Korean Assoc. Sci. Educ.* **2019**, 39, 389.
- Akaygun, S.; Brown, C.; Karatas, F. O.; Supasorn, S.; Yaseen, Z.; *ACS Symp. Ser.* **2018**, 1293, 129.
- Thiele, R. B.; Venville, G. J.; Treagust, D. F.; *Res. Sci. Educ.* **1995**, 25, 221.
- Arão, J.; *Tese de Doutoramento*, Universidade do Minho, Portugal, 2020.
- Leite, R.; *Dissertacao de Mestrado*, Universidade do Minho, Portugal, 2006.
- Liu, Y.; Taber, K. S.; *Chem. Educ. Res. Pract.* **2016**, 17, 439.
- Taber, K. S.; Akpan, B.; *Science Education. New Directions in Mathematics and Science Education*, SensePublishers: Rotterdam, 2017.
- Talanquer, V.; *Int. J. Sci. Educ.* **2011**, 33, 179.
- Kwon, S.; Lee, G.; Niaz, M.; *Eurasia Journal of Mathematics, Science, and Technology Education* **2020**, 16, 1.
- Rahayu, R. R. Y.; Sutrisno, H.; *Eur. J. Educ. Stud.* **2019**, 5, 255.
- Thiele, R. B.; Treagust, D. F.; *J. Res. Sci. Teach.* **1994**, 31, 227.
- McMillan, J.; Schumacher, S.; *Research in Education: Evidence-Based Inquiry*; Pearson: Edinburgh Gate, 2014.

33. Bogdan, R.; Biklen, S.; *Investigação em educação: uma introdução à teoria e aos métodos*; Porto Editora: Porto, 2013.
34. Ferry, A. da S.; e Paula, H. de F.; *Ciência & Educação* **2017**, *23*, 29.
35. Dourado, L.; Morgado, S.; Leite, L.; *Turkish Online Journal of Educational Technology* **2015**, 426.
36. Vasconcelos, F. C. G. C.; Arroio, A.; *Quim. Nova* **2013**, *36*, 1242.
37. Treagust, D. F.; Duit, R.; Lindauer, I.; Joslin, P.; *J. Res. Sci. Educ.* **1989**, 291.
38. Maharaj-Sharma-Sharma, R.; Sharma, A.; *Sci. Educ. Int.* **2015**, *25*, 557.
39. Ramos, T. C.; Mendonça, P. C. C.; Mozzer, N. B.; *Ciência Educ.* **2019**, *25*, 607.
40. Francisco Junior, W. E.; Francisco, W.; de Oliveira, A. C. G.; *Ens. Pesqui. Educ. Ciênc. (Belo Horizonte)* **2012**, *14*, 131.
41. Dikmenli, M.; *Asia-Pacific Forum on Science Learning and Teaching* **2015**, *16*, 1.
42. Orgill, M.; Bodner, G. M.; *J. Res. Sci. Teach.* **2006**, *43*, 1040.
43. Akcay, S.; *Educ. Res. Rev.* **2016**, *11*, 1841.
44. Körhasan, N. D.; Hldlr, M.; *Physical Review Physics Education Research* **2019**, *15*, 1.
45. Farias, M. E.; Godinho, J. D.; Prochnow, T. R.; In *V Encontro Regional Sul de Ensino de Biologia (EREBIO-SUL) & IV Simpósio Latino Americano e Caribenho de Educação em Ciências do International Council of Associations for Science Education (ICASE)*, 2011.
46. Rodriguez, J. M. G.; Towns, M. H.; *J. Chem. Educ.* **2019**, *96*, 1401.
47. Jonane, L.; *Journal of Teacher Education for Sustainability* **2015**, *17*, 53.
48. Ferraz, D. F.; Terrazzan, E. A.; *Ens. Pesqui. Educ. Ciênc. (Belo Horizonte)* **2002**, *4*, 115.
49. Orgill, M.; Bussey, T. J.; Bodner, G. M.; *Chem. Educ. Res. Pract.* **2015**, *16*, 731.
50. Kiray, S. A.; *Int. J. Educ. Math. Sci. Technol.* **2016**, *4*, 147.
51. Gonçalves, J. M.; Julião, M. S. da S.; *Investigações em Ensino de Ciências* **2016**, *21*, 92.