

Uso de simulação em uma sequência didática para o ensino de radioatividade com base na Teoria Cognitiva da Aprendizagem Multimídia

Use of simulation in a didactic sequence for teaching radioactivity based in Cognitive Theory of Multimedia Learning

Leandro de Lima Morais

Universidade Federal de Pernambuco – Campus Agreste
limaleandro369@gmail.com

Flávia Cristina Gomes Catunda de Vasconcelos

Universidade Federal de Pernambuco – Campus Agreste
flaviacrisgomes@hotmail.com

Resumo

O uso de recursos que proporcionem a compreensão de fenômenos no ensino de Química pode ser relacionado a utilização de modelos representacionais para a explicação das interações atômico moleculares. Logo, os softwares de simulação tornam-se uma alternativa viável para melhorar a assimilação desse modo. Nesse sentido, o presente trabalho verificou as potencialidades que o uso de simulações em uma sequência didática sobre radioatividade, estruturada à luz da Teoria Cognitiva da Aprendizagem Multimídia de Richard Mayer, pode trazer para o ensino de Química. Os resultados obtidos permitiram verificar que o uso das simulações contribui com a interpretação do modo submicroscópico, visto que aspectos relevantes em relação a compreensão do decaimento alfa e beta foram observados. Conclui-se então que os recursos utilizados nesta pesquisa são eficazes, pois os resultados convergiram para o que se encontra na literatura no tocante à importância do uso das simulações no ensino de química.

Palavras chave: ensino de química, simulações, radioatividade, visualização

Abstract

The use of resources that provide the understanding of phenomena in the teaching of Chemistry can be related to the use of representational models for the explanation of molecular atomic interactions. So, the use of simulation software has become a viable alternative to improve the assimilation this level. The present research aims to verify the potential that the use of simulations in a didactic sequence about radioactivity and structured in light of Richard Mayer's Cognitive Theory of Multimedia Learning brings to the teaching of Chemistry. The results obtained allowed us to verify that the use of simulations contributes to the interpretation of the submicroscopic level, considering that relevant aspects regarding the students' understanding

of beta and alpha decay. Concluded that the resources used in this research are effective, since in general the results converged to what is found in the literature regarding the importance of using simulations in the chemistry.

Key words: teaching of chemistry, simulation, radioactivity, visualization

Introdução

O ensino de Química, ao longo dos anos, vem sendo alvo de relatos de estudantes que descrevem os conteúdos dessa ciência como complexos e desinteressantes (REZENDE, 2022). Os motivos que explicam essas dificuldades sentidas pelos estudantes, consoante Pauletti (2017) destaca, são a forma como a relação entre aulas práticas e teóricas acontece, a natureza abstrata atrelada a uma linguagem muito simbólica, assim como o pouco domínio sobre os modos representativos simbólico, macroscópico e submicroscópico pelos estudantes. Além disso, conforme destacado anteriormente, os estudantes demonstram também um certo desinteresse no que concerne aos assuntos que permeiam a disciplina de Química, sendo este desinteresse, em sua maioria, provocado pela forma como as informações referentes a matéria são apresentadas, pois de acordo com Fiori e Goi (2020) ainda é muito comum as aulas serem expositivas, sendo importante buscar promover mudanças neste método de ensino, através da qualificação do processo de ensino e aprendizagem.

Ademais, um dos problemas que refletem nas dificuldades sentidas pelos estudantes consiste na interpretação dos modelos representacionais, visto que pela Química necessitar um certo grau de abstração durante o processo de ensino e aprendizagem, torna-se preciso imaginar um sistema invisível, a nível das interações atômico-moleculares, na interpretação de fenômenos pertinentes a essa ciência. Dessa forma, isso tem gerado dificuldades, pois, sem recursos para possibilitar a visualização dos conceitos abstratos, os desafios na compreensão dos fenômenos químicos em sua totalidade tendem a aumentar (LOCATELLI; ZOCH; TRENTIN, 2015; VASCONCELOS, 2015). Atrelado a isso, a forma como os conceitos químicos são abordados nos ambientes formais de ensino é um dos principais fatores no sentido de contribuir com essas dificuldades na interpretação de modelos representacionais, já que ainda nos dias atuais costuma ser priorizado um ensino por repetição, descontextualizado, e que objetiva apenas a memorização de fórmulas e conceitos por parte dos estudantes. Nesse viés, essa prática tem ocasionado desafios nas aulas de química, uma vez que faz com que os estudantes achem a matéria de difícil compreensão, bem como desconexa com situações do cotidiano (VEIGA; QUENENHENN; CARGNIN, 2012).

Conforme o avanço tecnológico das últimas décadas, o uso de tecnologias em sala de aula também aumentou, e no cenário vivenciado durante a pandemia tornou-se ainda mais necessário implementar recursos tecnológicos nos diversos ambientes de ensino. Especificamente no ensino de Química, o uso das TICs, ou seja, das tecnologias da informação e da comunicação, podem proporcionar aspectos positivos, como apontam Locatelli, Zoch e Trentin (2015), ao afirmarem que a utilização destes recursos pode contribuir com uma melhor visualização de modelos representacionais, que evidenciem a Química à nível atômico-molecular, permitindo a compreensão das interações atômico moleculares a partir da representação submicroscópica. Vasconcelos (2015) destaca que as simulações, que são softwares que vêm sendo utilizados em sala de aula, quando exploradas a partir de toda uma estruturação consciente, podem contribuir com a compreensão do modo submicroscópico da Química, sendo esse o que os estudantes costumam apresentar mais dificuldades, pois é necessário imaginar um sistema abstrato, a nível

de interações entre átomos e moléculas. Com o intuito de subsidiar a organização das informações abordadas com o uso dos recursos tecnológicos e a análise dos resultados, a presente pesquisa utilizou como referência a Teoria Cognitiva da Aprendizagem Multimídia (TCAM) de Richard Mayer, a qual por levar em consideração aspectos da ciência cognitiva, defende que a utilização das imagens e palavras considerando os pressupostos da teoria contribui para melhorias na aprendizagem (MAYER, 2001).

Considerando as informações destacadas acima, o presente trabalho teve como objetivo investigar as potencialidades de uma estratégia didática, que utilize simulação e que seja estruturada sob a luz da Teoria Cognitiva da Aprendizagem Multimídia de Richard Mayer, para o ensino da radioatividade.

A Teoria Cognitiva da Aprendizagem Multimídia Atrelada ao Ensino de Química

Sabe-se no ensino de Química que uma das dificuldades apresentadas por estudantes são os diversos conceitos que necessitam certo grau de abstração, conceitos esses que podem ocasionar desinteresse, baixo rendimento dos estudantes e o entendimento de que os conteúdos da Química são difíceis (SHIRAN, 2007). Além disso, consoante Halfen *et al.* (2020) a abstração de determinados princípios pode fazer com que não ocorra uma relação efetiva entre os modos representativos, como o simbólico e o submicroscópico, gerando então dificuldades na compreensão de fenômenos. Nesse sentido, é que surge a necessidade da utilização de representações pictóricas na forma de mensagens educacionais multimídia tendo como referência os pressupostos da TCAM, pois como apontam Neves, Carneiro-Leão e Ferreira (2016) a teoria cognitiva da aprendizagem multimídia possibilita a avaliação dos aspectos que estão implícitos e explícitos na imagem, evitando assim o acúmulo de informações desnecessárias durante a realização de uma aula que usa mensagens educacionais multimídias. Com isso, uma das formas de se utilizar as representações pictóricas é com o auxílio de tecnologias como o computador.

Dentre os benefícios na utilização do computador inserido dentro das aulas de Química, está a possibilidade de representar modelos referentes ao modo submicroscópico, sendo essa atividade importante para compreensão do fenômeno químico em sua totalidade. Relacionado a isso, entra a Teoria Cognitiva da Aprendizagem multimídia, pois de acordo com Lopes e Chaves (2018) essa é uma das teorias que dão suporte para a relação entre a educação com a utilização de recursos tecnológicos. Deste modo, considerando que no ensino da radioatividade é necessário abstração para sua interpretação, em razão do fenômeno envolver partículas subatômicas, a utilização de representações pictóricas, que são foco nos recursos tecnológicos, pode minimizar as possíveis dificuldades apresentadas por estudantes, visto que as imagens “também, surgem para diminuir a abstração de determinados conceitos, tornando-os mais perceptíveis aos estudantes, facilitando a comunicação de conceitos e ideias [...]” (NEVES; CARNEIRO-LEÃO; FERREIRA, 2016, p. 95).

Em relação as informações destacadas na teoria cognitiva da aprendizagem multimídia, Mayer (2001) aponta que a utilização de imagens ou palavras de forma isolada no ensino de um determinado conteúdo não é eficiente, ao apresentar diversos argumentos favoráveis sobre a aprendizagem multimídia, na qual, aponta aspectos positivos no que diz respeito ao desenvolvimento cognitivo dos estudantes frente a essa abordagem. Na TCAM é defendido que a utilização de recursos educacionais baseados em como funciona a mente humana pode promover uma aprendizagem mais significativa, pois essa teoria leva em consideração aspectos da ciência cognitiva em relação a aprendizagem, sendo eles: o pressuposto do canal duplo, que defende que a mente humana possui dois canais referentes ao processamento de informações,

sendo um destinado a imagens (visual) e o outro a sons (auditivo). O pressuposto da capacidade limitada, no qual, os canais têm um limite de processamento de imagens e sons, logo, nem todas as informações apresentadas são assimiladas. E por fim, o pressuposto do processamento ativo, em que os estudantes precisam prestar atenção, organizar as informações apresentadas e integrar estas informações com conhecimentos pré-existentes, seguindo uma ordem de processos cognitivos para assim dar sentido às informações recebidas (MAYER, 2001).

Nos pressupostos da TCAM tem-se ainda que existem três tipos de memórias envolvidas no processo de aprendizagem, mais precisamente no processamento de informações, as quais são: a sensorial, a memória de trabalho, e a memória a longo prazo (MAYER, 2001). A memória sensorial permite um entendimento breve de informações por um período, as imagens ou textos escritos entram na memória sensorial visual, já os sons reproduzidos na apresentação multimídia ficam retidos na memória sensorial auditiva. A memória de trabalho, cuja informações são processadas, retém as informações por um tempo maior que na memória sensorial, ou seja, ocorre de forma consciente, em que existe uma seleção de informações relevantes, seguida da organização dessas. Na memória a longo prazo, terceira e última, estão contidos os conhecimentos pré-existentes dos estudantes, que posteriormente serão integrados com as informações interpretadas da apresentação multimídia (MAYER, 2001).

As simulações no ensino de Química

Considerando que as dificuldades na compreensão de conceitos abstratos surgem em virtude da ausência de estímulos sensoriais, as simulações vêm sendo utilizadas como ferramentas para explicar estes conceitos, na medida em que possibilitam a interpretação de representações, a partir dos modelos representacionais do fenômeno em estudo (RIBEIRO; GRECA, 2003). Além disso, como a compreensão da Química pode ser considerada complexa devido a explicações abstratas dos fenômenos, as simulações além de auxiliar nessa visualização descrita anteriormente, podem também contribuir com a observação do comportamento atômico molecular a partir da análise das variáveis envolvidas nos fenômenos (ARAÚJO; NETO; OLIVEIRA, 2021; MACHADO, 2016).

Ainda em relação à importância do uso das simulações no ensino de Química, (RIBEIRO; GRECA, 2003, p. 544) apontam que:

Os “softwares” de simulação e as ferramentas de modelização, podem ser de grande utilidade para que os educadores consigam proporcionar condições aos alunos de, a partir da modelização de determinado fenômeno, desenvolverem a compreensão conceitual dos estudos desenvolvidos, não mais fazendo o uso mecânico dos conceitos que envolvem os fenômenos estudados. (RIBEIRO; GRECA, 2003, p. 544)

Nesse sentido, percebe-se que o uso das simulações tem como um dos principais objetivos proporcionar condições adequadas para que o estudante consiga visualizar determinado modelo representacional e conseqüentemente compreender o fenômeno estudado. No entanto, cabe destacar que para além dessas características, a simulação em sala de aula possibilita ainda um dinamismo que foge das técnicas tradicionais em que o ensino de Química costuma ser pautado historicamente, proporcionando ao estudante uma maior interação, uma vez que tornam a aula mais dinâmica e interativa (MARTINS et al., 2020). Ademais, Vasconcelos (2015), aponta que ao utilizar simulações que representam o modo submicroscópico de um determinado fenômeno, pode-se verificar suas potencialidades para com o ensino de Química. Nesse viés, analisando os softwares de simulações disponíveis, tais como Software labvirt, Carbópolis, Virtual

Chemistry lab 2.0, dentre outros (MACHADO, 2016), no presente trabalho foram escolhidas as simulações do PhET Interactive simulations¹, mais especificamente decaimento alfa² e decaimento beta³ por estarem relacionadas com o fenômeno da radioatividade, que foram desenvolvidas a partir de um projeto da Universidade do Colorado, ressaltando que iniciaram na área de Física, se ampliando para Química, e outras ciências como Matemática, Ciências da Terra e Biologia (MACHADO, 2016).

Moreno e Heidelmann (2017) apontam que a simulação *PhET* não só promove a visualização de representações referentes ao modo submicroscópico, mas também permite a alteração de variáveis no fenômeno em estudo, ou seja, alterações nas condições do sistema, o que consequentemente pode gerar uma melhor imersão do estudante na exploração do software.

Radioatividade e sua abordagem nas aulas de Química

A temática ou conteúdo de Radioatividade é um dos assuntos abordados nas aulas de Química da educação básica, e geralmente associado a algo perigoso, essencialmente em virtude das diversas reproduções em filmes, seriados e animações, bem como os eventos que aconteceram ao longo da história, destacando-se os acidentes nucleares como o acidente de Chernobyl, da usina de Fukushima e o caso do Césio-137 em Goiânia. Vasconcelos e Leão (2012) destacam que há uma distorção sobre as verdadeiras consequências no que concerne à exposição à radioatividade, apresentadas nestes meios audiovisuais. Nesse viés, deve-se pensar em como a radioatividade vem sendo tratada no ensino médio, para então possibilitar estratégias eficientes na abordagem do conteúdo, elucidando assim toda a sua importância.

Consoante o Currículo de Pernambuco para o Ensino Médio, a radioatividade deve ser trabalhada no 1º ano do ensino médio através dos objetos do conhecimento “noções de radioatividade” e “datação por Carbono-14” que tem como habilidade específica do componente “Recorrer aos diversos sistemas de datação de fósseis para auxiliar a análise histórica de seres, materiais e objetos que relatam a evolução da história humana, valorizando e respeitando a diversidade étnica e cultural.” (PERNAMBUCO, 2021, p. 225). Ademais, a temática radioatividade é retomada no 3º ano do ensino médio através dos objetos de conhecimento “Conceitos fundamentais de Radioatividade. Potencialidades e riscos da aplicação da radioatividade em equipamentos de uso cotidiano, na saúde, no ambiente, na indústria, na área militar, na agricultura e na geração de energia elétrica.” (PERNAMBUCO, 2021, p. 230-231), tendo como habilidade específica do componente:

Compreender as mudanças de paradigmas entre a visão clássica e o modelo quântico para o átomo, através de contextualizações históricas, referenciais teóricos e demonstrações experimentais, refletindo de que forma e até que ponto a radioatividade pode ser empregada na vida e no meio ambiente. (PERNAMBUCO, 2021, p. 230-231)

Com isso, torna-se necessário estruturar estratégias didáticas que abordem a radioatividade de uma perspectiva reflexiva, na qual sejam destacados os aspectos positivos em relação ao tema, a partir de uma tentativa de desconstrução do que os estudantes compreendem previamente. Além disso, devido ao grau de abstração do tema, visto que o fenômeno ocorre essencialmente

¹ Disponível em: https://phet.colorado.edu/pt_BR/ Acesso em: 20 nov, 2022.

² Simulação Decaimento Alfa. Disponível em: https://phet.colorado.edu/pt_BR/simulations/alpha-decay Acesso em: 20 nov, 2022.

³ Simulação Decaimento Beta. Disponível em: https://phet.colorado.edu/pt_BR/simulations/beta-decay Acesso em: 20 nov, 2022.

à nível atômico-molecular e envolve partículas subatômicas, impossibilitando a visualização por parte dos estudantes, é preciso utilizar modelos representacionais que busquem minimizar as dificuldades e aumentar a compreensão a respeito do modo submicroscópico.

Metodologia

A pesquisa caracteriza-se como qualitativa quanto à abordagem e exploratória quanto aos objetivos, e foi realizada com estudantes dos cursos técnicos integrados ao Ensino Médio de edificações e mecatrônica, no Instituto Federal de Pernambuco – *Campus* Caruaru, em que as turmas escolhidas foram do 5º período envolvendo uma média de 10 participantes efetivamente em cada aula. Cabe ressaltar que a pesquisa exploratória objetiva um aumento no conhecimento do fenômeno em estudo quando esse tem um escasso conhecimento sistematizado (ZANELLA, 2011). No que concerne a abordagem qualitativa, consoante destaca Mendonça (2017, p. 90) essa “[...] pretende interpretar em vez de mensurar, pensa mais em termos de compreensão da realidade e dos sujeitos”.

A aplicação da sequência didática ocorreu em três encontros presenciais, sendo as informações apresentadas divididas da seguinte forma: 1º encontro: debate de fatos históricos em relação a radioatividade; 2º encontro: abordagem conceitual sobre as partículas alfa, beta, e os raios gama, sobre a interação da radioatividade com a matéria, seguido da exploração das simulações *PhET* decaimento alfa e decaimento beta; e por fim no 3º encontro: aplicações da radioatividade no cotidiano através de discussões sobre processos de irradiação de alimentos, usinas nucleares, radioatividade na medicina e datação por carbono-14.

No tocante à coleta de dados, foram utilizados três instrumentos, sendo eles: um questionário para obtenção dos conhecimentos prévios dos estudantes acerca da temática radioatividade, aplicado no início do primeiro encontro; um teste de retenção disponibilizado em formato de google formulário após o segundo encontro; e um teste de transferência disponibilizado via google formulário após o terceiro e último encontro. Mayer (2001) define o teste de retenção como sendo importante para medir o quanto os estudantes recordam as informações que foram apresentadas na mensagem educacional multimídia. Já o teste de transferência possibilita verificar a compreensão dos estudantes sobre o objeto de estudo, ou seja, o quanto eles assimilaram do conteúdo discutido nas apresentações multimídias, na medida em que aplicam as informações apresentadas para resolver novos problemas (MAYER, 2001).

Os resultados obtidos com o questionário de conhecimentos prévios foram analisados pela técnica da análise de conteúdo que de acordo com Franco (2005, p. 24), “[...] os resultados da análise de conteúdo devem refletir os objetivos da pesquisa e ter como apoio indícios manifestos e capturáveis no âmbito das comunicações emitidas”. Em relação a análise das respostas provenientes dos testes de retenção e de transferência, foi realizado um processo de categorização, em que as respostas foram julgadas e selecionadas em categorias denominadas: i) satisfatória; ii) moderadamente satisfatória; e, iii) insatisfatória. Na categoria satisfatória ficaram as respostas cujos conceitos citados foram suficientes para responder de forma objetiva, coerente e correta o que se pedia na questão, a partir de elementos abordados nas apresentações multimídias durante a aplicação da sequência didática. Na categoria moderadamente satisfatória, ficaram as respostas que apresentaram parte dos conceitos necessários para responder à questão, no entanto sem muita coerência, tornando as respostas relativamente confusas, incompletas ou parcialmente equivocadas. E por fim, na categoria insatisfatória, foram listadas aquelas respostas que não apresentaram sentido e coerência, bem como não satisfizeram em termos conceituais o que se pedia na questão.

Resultados e discussão

As respostas obtidas no primeiro encontro, após a aplicação do questionário de conhecimentos prévios, evidenciaram algumas distorções no que concerne a compreensão dos estudantes sobre o tema radioatividade. De modo geral, pôde-se perceber que os estudantes costumavam confundir o fenômeno radioatividade com os tipos de radiações eletromagnéticas. Além disso, ainda que em alguns casos isolados, a interpretação da radioatividade como algo essencialmente perigoso era destacada pelos estudantes. Essa relação entre os termos perigo e radioatividade já era esperada, tendo em vista que como era o senso comum deles e esses não tinham participado de outra aula sobre a temática em momentos anteriores, infere-se que a construção do conhecimento pode ter ocorrido de forma equivocada, pois segundo Vasconcelos e Leão (2012) à maneira como as informações sobre a radioatividade são veiculadas nos meios de comunicação contribuem para essa interpretação distorcida.

Conforme já destacado, notou-se que parte dos estudantes associaram a radioatividade como equivalente a qualquer tipo de radiação eletromagnética em algumas das perguntas do teste, tais como a 1º pergunta (P1) e a 3º pergunta (P3) que eram mais voltadas para o que eles entendiam sobre o termo radioatividade e quais exemplos poderiam destacar, respectivamente. A resposta do estudante LNI para a P1 transcrita abaixo permite observar esse aspecto destacado.

“Atividade” normalmente parece ser uma ação, “radio” lembra as ondas sonoras, mas quando se fala de radioatividade se lembra de radiação, então acredito que seja a emissão de radiação por meio de ondas – (LNI)

Essa generalização pode ocorrer devido à ausência de um estudo mais aprofundado sobre a radioatividade, fazendo com que os estudantes não consigam diferenciar os termos radioatividade e radiação, que é mais amplo e genérico. Dessa forma, há uma interpretação equivocada e errônea dos conceitos citados, nos quais ambos são considerados iguais (GOMBRADE; SILVA, 2021). No que concerne aos exemplos que foram elencados pelos estudantes ao responderem a P3 do questionário, notou-se termos como raios X, ondas de rádio, infravermelho, radioterapia, irradiação de alimentos, celular, radar, usinas nucleares, micro-ondas e ultrassom.

Identifica-se que nas respostas dos estudantes predominou aspectos do senso comum, em que radiações eletromagnéticas foram atribuídas de forma equivocada à radioatividade, tornando perceptível as dificuldades dos estudantes em distinguir fenômenos associados aos dois termos (GOMBRADE; SILVA, 2021). Mesmo assim, pôde-se notar aplicações corretas como a radioterapia, irradiação de alimentos e as usinas nucleares destacadas.

Em relação as respostas obtidas para a 5º questão (P5), a qual indagava o conhecimento dos estudantes sobre o processo de irradiação e se esse fazia mal para o consumo, pôde-se perceber que os estudantes demonstraram não compreender como funciona o processo, ao responderem intuitivamente à questão, conforme resposta transcrita do estudante AC8 abaixo.

“Acho que não, pois alguns alimentos possuem um nível de radiação mesmo que baixo” – (AC8)

O argumento utilizado pelo estudante supracitado não é o cerne da questão, tendo em vista que o processo de irradiação não envolve a radiação emitida pelos elementos que compõem o alimento em si, mas a exposição do alimento a partículas (geralmente beta) e ondas (raios gama) oriundos de um elemento radioativo - Cobalto-60 que é instável e sofre decaimento - com o objetivo de esterilizar, evitar brotamento e maturação, bem como a decomposição. A aplicação desta técnica prolonga o tempo de armazenamento dos alimentos em condições propícias para

o consumo humano (EICHLER; CALVETE; SALGADO, 1997).

Sendo assim, com base nas respostas obtidas no questionário de concepções sobre a radioatividade, pôde-se verificar que os estudantes não possuíam um sólido conhecimento sobre o tema, o que já era esperado visto que não tinham tido aula sobre a radioatividade até o momento da aplicação do questionário, garantindo assim uma maior lisura de que as informações obtidas nas respostas provenientes dos testes de retenção e de transferência basearam-se nas informações destacadas nas mensagens educacionais multimídia da sequência didática.

A análise dos resultados do teste de retenção começou com a categorização das respostas obtidas em sua aplicação, que ocorreu em momento posterior ao segundo encontro através da disponibilização desse em uma plataforma online. De modo geral, percebeu-se que os estudantes apresentaram argumentos aceitáveis ao responderem às perguntas realizadas, embora alguns equívocos conceituais também fossem observados, o que fez com que maioria das respostas fossem alocadas na categoria moderadamente satisfatória. Apesar disso, os resultados foram significativos, tendo em vista que apenas 1 (um) encontro não seria suficiente para desconstruir toda uma concepção anterior presente na memória de longo prazo dos estudantes. Cabe ainda ressaltar que mesmo com os equívocos mencionados ainda foi possível observar aspectos relevantes nas interpretações.

Esses aspectos relevantes mencionados foram observados principalmente nas respostas em que se trazia a descrição das radiações alfa e beta, o que permite a inferência de que as simulações *PhET* decaimento alfa e decaimento beta contribuíram para esses resultados. Na 2ª pergunta do teste de retenção (P2), que indagava acerca do que ocorria com um núcleo atômico após sofrer decaimento alfa, as respostas em sua maioria foram relevantes, sendo 3 (três) consideradas satisfatórias, 2 (duas) moderadamente satisfatórias e 2 (insatisfatórias). Pôde-se perceber que os estudantes cujas respostas se encaixam na categoria satisfatória (*GB11*, *MT7* e *LNI*) compreenderam que era necessário descrever as características da partícula alfa e o que ocorre com o núcleo do Urânio-238 no momento posterior ao decaimento. Essas características podem ser observadas na resposta do estudante *LNI* transcrita abaixo.

Essa partícula alfa que é emitida pelo U - 238 possui dois prótons e dois nêutrons, e origina um núcleo de Th - 234 em cada emissão – (LNI)

Desse modo, infere-se que a exploração da simulação *PhET* decaimento alfa pode ter contribuído para esse entendimento, já que foi explorada uma representação dinâmica de um núcleo instável que sofria decaimento alfa e tinha sua massa reduzida em 4 e o número atômico em 2, se transmutando assim em outro elemento, o que conseqüentemente convergiu com a literatura no tocante ao fato da simulação permitir a visualização e interpretação de modelos representacionais do fenômeno em estudo (ARAÚJO; NETO; OLIVEIRA, 2021; MACHADO, 2016; RIBEIRO; GRECA, 2003). Já no tocante as respostas moderadamente satisfatórias para a P2 os estudantes (*GLI3* e *YR14*) descreveram apenas o que acontecia com o núcleo do isótopo Urânio-238 após o decaimento, ou seja, não se preocuparam em descrever as características da partícula alfa emitida como se pede na questão, tornando assim as respostas incompletas. Percebe-se então que os estudantes compreenderam as características da partícula alfa, pelo fato de descrever corretamente como fica o núcleo atômico após o decaimento, embora não as tenha citado, demonstrando assim que apesar das respostas incompletas esses compreenderam parte das informações trabalhadas na exploração da simulação decaimento alfa.

As respostas obtidas na 3ª questão do teste de retenção (P3), evidenciaram equívocos na diferenciação entre os tipos de radiações alfa, beta e gama. No entanto, pôde-se observar um

maior detalhe de informações destacadas nas respostas dos estudantes ao descreverem as características das partículas alfa e beta. Nesse viés, 3 (três) respostas se inseriram na categoria satisfatória, 3 (três) na categoria moderadamente satisfatória e 1 (uma) na categoria insatisfatória.

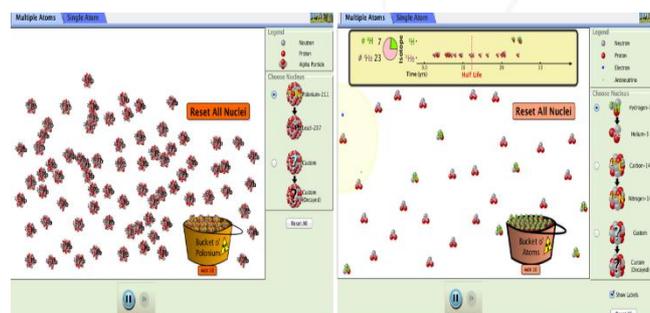
Percebe-se que nas respostas consideradas satisfatórias, os estudantes (*LNI*, *MT7* e *GB11*) detalharam as características das partículas alfa e beta e dos raios gama, discorrendo sobre aspectos como volume, carga, natureza (particulada ou ondas eletromagnéticas), interação com a matéria, poder de penetração e de ionização. A resposta transcrita abaixo do estudante *GB11* detalha estes aspectos.

“A partícula alfa é a com núcleo mais pesado e é pouco penetrante, podendo ser parado até por uma folha de papel; a partícula beta tem massa muito pequena, um nêutron vira um próton e por ser menor consegue ser mais penetrante. Os raios betas não é uma partícula, não tem massa, é só uma energia liberada e sempre junto de alguma dessas 51 outras partículas, por ter uma energia muito grande consegue atravessar até aço” – (GB11)

Infere-se disso que os estudantes conseguiram organizar as informações necessárias em suas memórias de trabalho, a partir da apresentação de mensagens educacionais multimídias contidas no slide, que evidenciava a representação das partículas alfa e beta e dos raios gama, e que trazia informações verbais de forma concomitante, bem como das informações trabalhadas durante a exploração das simulações *PhET*, em que ambos os recursos atenderam ao princípio do canal duplo (MAYER, 2001).

Além disso, conclui-se que a exploração das simulações decaimento alfa e decaimento beta (figura 1) foi o principal contribuinte para essas respostas, tendo em vista que as simulações podem ter auxiliado os estudantes a visualizar mais facilmente as representações dinâmicas e assim interpretar o fenômeno mais detalhadamente, contribuindo para a compreensão do fenômeno em sua totalidade (CORREIA; SILVA; VASCONCELOS, 2019).

Figura 1: Simulações PhET decaimento alfa e decaimento beta



Fonte: Site Phet Colorado. Disponível em:

https://phet.colorado.edu/pt_BR/simulations/beta-decay Acesso 20 nov. 2022.

Prosseguindo agora com a análise das respostas obtidas para o teste de transferência, essas respostas permitiram verificar a compreensão dos estudantes acerca das informações abordadas durante toda a etapa de aplicação da sequência didática, incluindo a exploração das simulações, tendo em vista que consoante destaca Mayer (2001) o teste de transferência permite verificar o quanto os estudantes utilizam as informações apresentadas para resolver novos problemas. Nesse viés, convém destacar que, de modo geral, foram notados aspectos interessantes nas respostas dos estudantes, visto que pôde-se perceber uma relação das informações da sequência didática com conhecimentos pré-existentes por parte dos estudantes

As respostas obtidas na 1º questão do teste de transferência (P1), a qual indagava sobre o transporte de alimentos irradiados e as atitudes de funcionários de uma empresa, permitiram observar que todos os estudantes apontaram que a atitude dos responsáveis pela empresa foi equivocada, embora nem todos tenham conseguido justificar com argumentos válidos as suas afirmações, o que fez com que algumas respostas fossem consideradas moderadamente satisfatórias. 3 (três) respostas foram consideradas satisfatórias, visto que os estudantes (LNI, MT7 e GB11) descreveram que a atitude da empresa foi equivocada, na medida que justificavam essa afirmação apontando que o alimento não se contaminava por não ter contato direto com a fonte radioativa, além de detalhar alguns dos benefícios obtidos com o processo. Abaixo pode-se observar estes aspectos descritos na resposta transcrita.

Equivocada. Porque o tratamento de irradiação serve para esterilizar e aumentar o tempo de conserva do alimento, eles não entram em contato com a radiação diretamente por isso não apresenta resíduos, portanto não emitem radiação e não apresentam riscos – (MT7)

Nesse sentido, pode-se inferir que os estudantes conseguiram compreender as informações verbais e pictóricas, em relação ao assunto da questão, presentes nas etapas da sequência didática, organizando-as em sua memória de trabalho e posteriormente integrando-as com os conhecimentos pré-existentes presentes na memória de longo prazo. Essa inferência tem como embasamento os processos em que os estudantes se submetem frente a uma mensagem educacional multimídia, os quais são descritos na teoria cognitiva da aprendizagem multimídia, o que pode ter levado os estudantes a construir um modelo mental coerente para responder o problema indagado na questão (MAYER, 2001).

Ademais cabe destacar que na 4º questão do teste de transferência (P4) houve uma maior incidência de respostas consideradas insatisfatórias, visto que 4 (quatro) estudantes (MT7, LNI, JV16 e RY15) responderam equivocadamente ao associarem as características descritas no enunciado da questão como sendo das partículas beta, quando na verdade se tratava dos raios gama. Conclui-se disso que pode ter ocorrido uma falta de atenção na interpretação das características evidenciadas no enunciado. Além disso, pode-se associar que a ausência da exploração de uma simulação específica sobre os raios gama pode ter potencializado as respostas equivocadas, pois a simulação permite justamente melhorar a interpretação dos modelos representacionais (ARAÚJO; NETO; OLIVEIRA, 2021).

Conclusão

Conforme a análise dos resultados obtidos no questionário de conhecimentos prévios e nos testes de retenção e de transferência sobre a temática de radioatividade, conclui-se que a elaboração de sequência didática baseada na Teoria Cognitiva da Aprendizagem Multimídia, utilizando softwares de simulação, apresenta um potencial relevante no tocante à interpretação de fenômenos químicos em sua totalidade. Esse desfecho leva em consideração o fato da pesquisa ter permitido verificar se os estudantes conseguiram assimilar informações de um encontro específico, como foi o caso da aplicação do teste de retenção na segunda aula, assim como permitiu também observar, com o auxílio do teste de transferência, o quanto os estudantes compreenderam das informações gerais da abordagem, ou seja, dos três encontros, na medida que respondiam os problemas contextualizados disponibilizados no teste.

Ademais, cabe ressaltar que apesar de haver muitas respostas insatisfatórias e moderadamente satisfatórias, ainda foi possível observar aspectos relevantes que reforçam que a estratégia utilizada na pesquisa é potencialmente eficaz. Infere-se disso que uma utilização mais ampla, a

longo prazo, de forma cumulativa, e tomando como respaldo pesquisas anteriores sobre estratégia didática com uso de simulação, pode proporcionar resultados ainda mais detalhados e efetivos.

Agradecimentos e apoios

Agradeço ao CNPq pela bolsa de iniciação científica e a direção do Instituto Federal de Pernambuco - *Campus* Caruaru pela permissão para aplicação da pesquisa.

Referências

- ARAÚJO, Francisco Oliveira; NETO, Jonas Guimarães Paulo; OLIVEIRA, Francisco Leandro Rodrigues de. Uso do software de simulação PhET como recurso metodológico no ensino de óptica. **Revista Docentes**, Fortaleza, v. 6, n. 14, p. 52-66, 2021.
- CORREIA, Karla Kilma; SILVA, Renan Amorin da; VASCONCELOS, Flávia Cristina Gomes Catunda de. O uso de TICs com auxílio da Experimentação frente às Representações Mentais. In: Actas V Jornadas de Enseñanza e Investigación Educativa en el campo de las Ciencias Exactas y Naturales Facultad de Humanidades y Ciencias de la Educación, 5., 2019, La Plata. **Actas [...]**. La Plata: Universidad Nacional de La Plata, 2019.
- EICHLER, Marcelo Leandro.; CALVETE, Marcos Henrique Hahn; SALGADO, Tânia Denise Miskinis. Módulos para o Ensino de Radioatividade. Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1997.
- FIORI, Raquel; GOI, Mara Elisângela Jappe. O Ensino de Química na plataforma digital em tempos de Coronavírus. **Revista Thema**, Pelotas, v. 18, p. 218-242, 2020.
- FRANCO, Maria Laura Puglisi Barbosa. **Análise de conteúdo**. 2.ed. Brasília: Liber livro editora, 2005.
- GOMBRAGE, Rafael; SILVA, Leandro Londero da. Concepções de alunos do ciclo básico sobre conceitos de radiação e radioatividade. **Revista Valore**, Volta Redonda, v. 6, p. 1481-1490, 2021.
- HALFEN, Renato Arthur Paim et al. Experimentos químicos em sala de aula utilizando recursos multimídia: uma proposta de aulas demonstrativas para o ensino de Química Orgânica. **Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias**, v. 19, n. 2, p. 270-294, 2020.
- LOCATELLI, Aline; ZOCH, Alana Neto; TRENTIN, Marco Antonio Sandini. TICs no ensino de química: um recorte do “estado da arte”. **Revista Tecnologias na Educação**, Minas Gerais, v. 7, n. 12, p. 1-12, 2015.
- LOPES, Auxiliadora Cristina Correa Barata; CHAVES, Edson Valente. Animação como recurso didático no ensino da química: capacitando futuros professores. **Educitec-Revista de Estudos e Pesquisas sobre Ensino Tecnológico**, Manaus, v. 4, n. 07, 2018.
- MACHADO, Adriano Silveira. Uso de softwares educacionais, objetos de aprendizagem e simulações no ensino de química. **Revista Química Nova na Escola**, São Paulo, v. 38, n. 2, p. 104-111, 2016.
- MARTINS, Sabrina Oliveira et al. O uso de simuladores virtuais na educação básica: uma estratégia para facilitar a aprendizagem nas aulas de Química. **Revista Ciências & Ideias**, Rio de Janeiro, v. 11, n. 1, p. 216-233, 2020.

- MAYER, Richard E. **Multimedia learning**. New York: Cambridge University Press, 2001.
- MENDONÇA, Priscilla Bibiano de Oliveira. A metodologia científica em pesquisas educacionais: pensar e fazer ciência. **Interfaces Científicas - Educação**, v. 5, n. 3, p. 87-96, 2017.
- MORENO, Esteban Lopez; HEIDELMANN, Stephany Petronilho. Recursos instrucionais inovadores para o ensino de química. **Química Nova na Escola**, São Paulo, v. 39, n. 1, p. 12-18, 2017.
- NEVES, Ricardo Ferreira das; CARNEIRO-LEÃO, Ana Maria dos Anjos; FERREIRA, Helaine Sivini. A imagem da célula em livros de Biologia: uma abordagem a partir da teoria cognitivista da aprendizagem multimídia. **Investigações em Ensino de Ciências**, Porto Alegre, v. 21, n. 1, p. 94-105, 2016.
- PERNAMBUCO. **Currículo de Pernambuco: Ensino Médio**. Secretaria de Educação e Esportes, União dos Dirigentes Municipais da Educação. Recife. 2021. 695p. Disponível em: http://www.educacao.pe.gov.br/portal/upload/galeria/523/CURRICULO_DE_PERNAMBUCO_DO_ENSINO_MEDIO_2021_ultima_versao_17-12-2021.docx.pdf Acesso em: 03 nov. 2022.
- REZENDE, Raquel Melo. **Revisão Bibliográfica da Didática do Ensino de Química em Escolas Públicas**. 2022. 44 f. TCC (Graduação) - Curso de Licenciatura em Química, Instituto Federal Goiano - Campus Ceres, Ceres, 2022.
- RIBEIRO, Angela A.; GRECA, Ileana M. Simulações computacionais e ferramentas de modelização em educação química: uma revisão de literatura publicada. **Química Nova**, São Paulo, v. 26, n. 4, p. 542-549, 2003.
- SIRHAN, Ghassan. Learning difficulties in chemistry: An overview. **Journal of TURKISH SCIENCE EDUCATION**, Trabzon, v.4, n.2, p.2-20, 2007.
- VEIGA, Márcia S. Mendes; QUENENHENN, Alessandra; CARGNIN, Claudete. O ensino de química: algumas reflexões. In: I Jornada de Didática-O Ensino como FOCO-I Fórum de professores de Didática do Estado Do Paraná, 1., 2012, Londrina. **Anais [...]**. Londrina: Universidade Estadual de Londrina, 2012.
- VASCONCELOS, Flávia Cristina Gomes Catunda. Levantamento e análise das Simulações do PhET para o ensino e aprendizagem de Química. In: X Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências, 5., 2015, Águas de Lindóia. **Anais [...]**. Águas de Lindóia: ABRAPEC, 2015. p. 1-8.
- VASCONCELOS, Flávia Cristina Gomes Catunda; LEÃO, Marcelo Brito Carneiro. Utilização de recursos audiovisuais em uma estratégia flexquest sobre radioatividade. **Investigações em Ensino de Ciências**, Porto Alegre, v. 17, n. 1, p. 37-58, 2012.
- ZANELLA, Liane Carly Hermes. **Metodologia da pesquisa**. 2 ed. Florianópolis: Departamento de Ciências da Administração/UFSC, 2011.