

EDUCAÇÃO

V.12 • N.1 • Publicação Contínua - 2023

ISSN Digital: 2316-3828

ISSN Impresso: 2316-333X

DOI: 10.17564/2316-3828.2023v12n1p497-518



VÍDEOS DO YOUTUBE SOBRE AS SIMULAÇÕES DE QUÍMICA DO PHET: UMA ANÁLISE DO PROCESSAMENTO GERATIVO SEGUNDO A TEORIA COGNITIVA DE APRENDIZAGEM MULTIMÍDIA

YOUTUBE VIDEOS ON PHET CHEMISTRY SIMULATIONS: AN ANALYSIS OF GENERATIVE PROCESSING ACCORDING TO THE COGNITIVE THEORY OF MULTIMEDIA LEARNING

VÍDEOS DE YOUTUBE SOBRE LOS SIMULADORES PHET DE QUÍMICA: UN ANÁLISIS DEL PROCESAMIENTO GENERATIVO SEGÚN LA TEORÍA COGNITIVA DEL APRENDIZAJE MULTIMEDIA

Rafael Marques Müller¹

Marcelo Leandro Eichler²

RESUMO

As formas híbridas de ensino foram impulsionadas pelas necessidades emergenciais associadas à pandemia de Covid-19. Dessa maneira, a convergência de mídias nos processos de aprendizagem e de ensino tem sido cada vez mais enaltecida. Esta pesquisa buscou analisar os vídeos mais relevantes distribuídos pelo YouTube que discutem as simulações interativas do projeto PhET para o ensino de química. Foram analisados 23 videoaulas, nos idiomas português e inglês, segundo os critérios estabelecidos pela Teoria Cognitiva de Aprendizagem Multimídia (TCAM). Neste artigo, focamos a apresentação dos resultados em relação ao processamento gerativo da TCAM. Entre os principais resultados, constatou-se a exploração parcial de técnicas de personificação - como filmagem em primeira pessoa ou uso de gestos por parte do apresentador - e a ausência de propostas de atividades gerativas. Nesse sentido, na conclusão do estudo, indica-se que em novos vídeos se busque apresentar atividades dirigidas que envolvam a participação ativa do aprendiz.

PALAVRAS-CHAVE

Ensino de Química. Aprendizagem Multimídia. Simulações Interativas. Videoaulas.

ABSTRACT

Blended learning has been driven by the emergency educational needs associated with the Covid-19 Pandemic. In this way, the convergence of media in the learning and teaching processes has been increasingly praised. This research aimed to analyze the most relevant videos distributed by YouTube that discuss PhET simulations for teaching chemistry. Twenty-three video lessons were analyzed, in Portuguese and English, according to the criteria established by the Cognitive Theory of Multimedia Learning (CTML). In this article, we seek to present the results in relation to the generative processing of CTML. Among the main results, there was a partial exploration of personification techniques - such as first-person filming or the use of gestures by the presenter - and the absence of proposals for generative activities. In this sense, at the conclusion of the study, it is indicated that new videos should try to present guided activities that involve the active participation of the students who watch the videos.

KEYWORDS

Chemistry teaching; Multimedia learning; Interactive simulations; Video lessons.

RESUMEN

El aprendizaje combinado ha sido impulsado por las necesidades educativas de emergencia asociadas con la pandemia de Covid-19. De esta manera, la convergencia de los medios en los procesos de aprendizaje y enseñanza ha sido cada vez más elogiada. Esta investigación tuvo como objetivo analizar los videos más relevantes distribuidos por YouTube que discuten simuladores PhET para la enseñanza de la química. Se analizaron 23 lecciones en video, en portugués e inglés, según los criterios establecidos por la Teoría Cognitiva del Aprendizaje Multimedia (TCAM). En este artículo, buscamos presentar los resultados en relación con el procesamiento generativo de TCAM. Entre los principales resultados, hubo una exploración parcial de las técnicas de personificación - como la filmación en primera persona o el uso de gestos por parte del presentador- y la ausencia de propuestas de actividades generativas. En este sentido, al concluir el estudio, se indica que los nuevos videos deben tratar de presentar actividades guiadas que involucren la participación activa de los estudiantes que ven los videos.

PALABRAS-CLAVE

Enseñanza de la química. Aprendizaje multimedia. Simulaciones interactivas. Videoclase.

1 INTRODUÇÃO

A necessidade de isolamento social causada desde a declaração, pela Organização Mundial da Saúde, em janeiro de 2020, de que o surto do novo coronavírus (COVID-19) se tratava de uma Emergência de Saúde Pública de Importância Internacional (ESPII), despertou discussões dentro do contexto do ensino presencial e da necessidade de implantação em diversas instituições do Ensino Remoto Emergencial (ERE). Dessa forma, acentuou-se a busca por novas formas de ensinar, ainda que provisórias, que minimizassem o impacto negativo do ERE, tendo em vista que o currículo da maior parte das instituições educacionais não foi desenhado para a modalidade remota. Em meio a isso “foi preciso pensar em atividades pedagógicas mediadas pelo uso da internet” (BEHAR, 2020).

Ainda que tais debates tenham aumentado durante a pandemia da COVID-19, o uso das tecnologias da informação e da comunicação (TIC's) como estratégias de ensino no ambiente escolar já estava em pauta em discussões anteriores. Por exemplo, Johnson *et al.* (2012) apresentaram perspectivas para a educação básica brasileira para os anos de 2012 a 2017 que contemplavam aprendizagem baseada em jogos e usos de dispositivos móveis como celulares e *tablets*, além de ambientes de aprendizado online colaborativos. O estudo dos autores apontou tendências segundo as quais os paradigmas da educação estavam se modificando para incluir o aprendizado online, o aprendizado híbrido e os modelos colaborativos, além disso, indicou desafios relacionados à formação dos educadores e à reformulação de currículos e de metodologias de ensino.

Em relação ao uso de tecnologias no ensino da química, Leite (2015, p. 26) indica que

O conceito de tecnologia da informação e da comunicação (TIC) é utilizado para expressar a convergência entre a informática e as telecomunicações. As TIC's agrupam ferramentas informáticas e telecomunicativas como: televisão, vídeo, rádio, internet etc., e todas essas tecnologias têm em comum a utilização de meios telecomunicativos que facilitam a difusão da informação.

O autor explica que o uso de tais tecnologias vem sendo incorporado cada vez mais no processo pedagógico, mas ainda que a cada momento surjam novas tecnologias como o celular e os softwares, elas precisam ser compreendidas e incorporadas pedagogicamente. Também, não deixa de apontar para o problema da exclusão digital, referente à falta de acesso às vantagens e aos benefícios trazidos por essas novas tecnologias, por motivos sociais, econômicos, políticos ou culturais, e reforça a importância de medidas governamentais no sentido da inclusão digital.

Nesta pesquisa, buscamos a análise da convergência entre duas tecnologias que podem ser usadas em atividades educacionais. Por um lado, apresentamos as simulações didáticas do projeto PhET (da Universidade do Colorado, nos EUA) como uma importante iniciativa para auxiliar o desenvolvimento conceitual de noções fundamentais à química. Por outro lado, descrevemos como essas simulações didáticas são apresentadas e discutidas no YouTube, uma importante plataforma digital de compartilhamento de vídeos. Essa convergência será analisada com o suporte da Teoria Cognitiva da

Aprendizagem Multimídia (TCAM), proposta por Mayer (2009). Nas seções seguintes são mais bem descritas as tecnologias educacionais em convergência de análise.

1.1 O PROJETO PHET - SIMULAÇÕES INTERATIVAS

O projeto PhET Simulações Interativas da Universidade do Colorado, em Boulder (EUA), já desenvolveu, desde 2002, mais de uma centena de simuladores nas áreas de ciências da natureza e matemática usados nos diferentes níveis de ensino. Eles são amplamente utilizados em todo o mundo e estão disponibilizados gratuitamente em diversos idiomas (MOORE *et al.*, 2014).

Conforme Lancaster *et al.* (2013), os simuladores são criados por profissionais de áreas como educação e desenvolvimento de softwares, sendo seus objetivos pedagógicos alinhados a uma perspectiva construtivista da aprendizagem. Além dos objetivos pedagógicos, o projeto PhET possui objetivos de acessibilidade, segundo os quais os simuladores devem ser disponibilizados gratuitamente na internet, podendo ser baixados para uma quantidade ilimitada de dispositivos, e ainda serem usados em uma diversidade de ambientes educacionais, como em laboratórios, em aulas, em tarefas de casa, escolas virtuais, educação informal além de suportarem uma variedade de abordagens pedagógicas. Os princípios de desenho dos simuladores, adaptados de Moore *et al.* (2014), estão apresentados na Tabela 1.

Tabela 1 – Princípios de desenho do projeto PhET Simulações Interativas

Princípio	Descrição
Interatividade	Os simuladores permitem aos estudantes interação com parâmetros chave para entendimento conceitual.
Resposta imediata	Cada interação resulta numa resposta imediata que dá suporte para os estudantes responderem suas próprias questões enquanto exploram o recurso ou fenômeno.
Múltiplas representações	Os estudantes podem explorar e fazer conexões entre múltiplas representações (por exemplo, relacionar representações pictóricas e simbólicas).
Ações pedagógicas	Os simuladores permitem ações difíceis ou impossíveis no mundo real que podem promover insights difíceis de atingir por outras vias.
Interface intuitiva	A interface intuitiva suporta o engajamento e exploração do simulador pelo estudante minimizando as barreiras para a utilização (por exemplo, uma tela inicial simples com opções para aumentar a complexidade).
Conexões com a vida real	Sempre que possível os simuladores são desenhados para fazer conexões entre conceitos científicos e a vida real dos estudantes.

Princípio	Descrição
Jogos e desafios	Os simuladores são desenhados promover engajamento, curiosidade e um sentido de desafio, que motiva o estudante a explorar e interagir.
Orientação implícita	Os simuladores guiam os estudantes de forma implícita: os estudantes são guiados sem sentirem-se guiados. A orientação implícita se dá a partir de uma escolha cuidadosa do escopo, cor e localização dos objetos disponíveis, interatividade, feedback, e sequenciamento de conceitos por meio de abas.

Fonte: Adaptado de Moore *et al.* (2014).

Os simuladores são desenhados para contemplar um amplo conjunto de necessidades do professor, podendo ser incorporados em demonstrações, discussões interativas, atividades em sala de aula, laboratórios e trabalhos de casa, podendo ser usados para descobrir, demonstrar, comunicar, aplicar ou testar uma ideia (Moore *et al.*, 2014). Além disso, são especialmente desenhados para suportar atividades de investigação guiadas (Moore; Herzog; Perkins, 2013).

Por todas as suas características, os simuladores PhET são amplamente conhecidos e divulgados em diversos espaços voltados ao ensino de ciências e à formação de professores, como livros e artigos acadêmicos, bem como em eventos científicos. Dessa forma, a literatura sobre tais recursos didáticos é bastante ampla e este artigo não tem o propósito de resumir o que pode ser encontrado por outros meios. O que pretendemos mostrar, de forma complementar, é a maneira como esses objetos educacionais digitais são apresentados em uma plataforma digital de vídeos, enaltecendo a convergência de mídias na educação em ciências. Assim, o tema da próxima seção trata de algumas características da plataforma YouTube.

1.2 OS VÍDEOS EDUCACIONAIS E O YOUTUBE

A linguagem audiovisual está presente em diversos campos da vida social nos tempos atuais e sua utilização demanda, além do domínio do tema, o conhecimento de recursos tecnológicos, capacidade de expressar-se de forma eficiente, dentre outras necessidades. Leite (2015) pontua que seu uso no ambiente da educação deve ser acompanhado de planejamento, discussões e atividades relacionadas ao vídeo. O autor cita algumas formas do uso de vídeos no ensino de química, como “para introduzir, motivar, ilustrar ou concluir um trabalho de ensino e aprendizagem” permitindo uma “abordagem contextualizada e interdisciplinar de uma determinada realidade” (Leite, 2015, p. 311).

O YouTube é a maior plataforma mundial para criação, compartilhamento e descoberta de vídeos (Covington; Adams; Sargin, 2016). Além de sua popularidade, já foi reconhecida pelo seu potencial educacional, sendo também uma ótima ferramenta para que professores, estudantes e demais usuários possam distribuir vídeos sobre temas da química. A plataforma possui a vantagem óbvia de disponibilizar uma grande quantidade de vídeos em diversas áreas de forma gratuita. É possível ainda

organizar planos de aula agrupando vídeos em *playlists*. Além disso, as pesquisas de Nunes e Eichler (2018) sugerem uma popularidade no uso autogerenciado de videoaulas na preparação para o ingresso no ensino superior.

Existem três formas diferentes de encontrar vídeos no YouTube: a partir da página inicial do site; com o auxílio da busca por resultados na barra de procura; e por meio dos vídeos sugeridos para a visualização de espectadores na sequência de algum vídeo específico. Cada uma dessas formas possui uma maneira de seleção de vídeos diferente, que funciona mediante algoritmos de recomendação (Cooper, 2021). Muito embora a maneira mais frequente de acesso a vídeos no YouTube seja por meio da página inicial e dos vídeos sugeridos, aqueles vídeos do tipo instrucionais são mais acessados por meio da barra de pesquisa (Covington; Adams; Sargin, 2016).

Na busca por vídeos na barra de pesquisa são priorizados três elementos nos resultados das pesquisas: i) a relevância, estimada pela análise dos títulos, *tags* (palavras-chave) e descrições dos vídeos; ii) o envolvimento, estimado de acordo com dados de audiência como o tempo de exibição de cada vídeo; e iii) a qualidade, que se refere à seleção daqueles canais que demonstram confiabilidade, autoridade e especialidade em determinado assunto. Além desses três fatores, o YouTube também faz uma personalização dos resultados, ou seja, seleciona resultados diferentes para cada usuário com base em seus dados como histórico de pesquisa e exibição (Youtube, 2021).

Os vídeos divulgados pelo YouTube que podem ser utilizados com finalidades educacionais podem ser avaliados e criticados com diversos propósitos, por exemplo, sob uma abordagem de análise de conteúdo ou de análise de discurso. Entretanto, a orientação dessa nossa pesquisa visou avaliar os vídeos que apresentam os simulares PhET em relação aos princípios da aprendizagem multimídia, tema de nossa próxima seção.

1.3 A TEORIA COGNITIVA DE APRENDIZAGEM MULTIMÍDIA (TCAM)

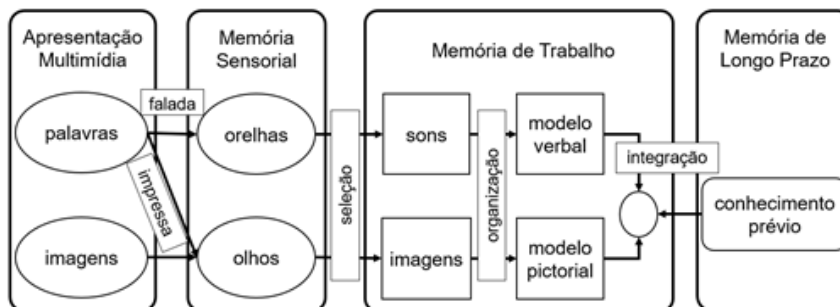
Mayer (2009) desenvolveu a Teoria Cognitiva de Aprendizagem Multimídia (TCAM), cuja premissa básica é a de que as pessoas aprendem melhor por meio de palavras e imagens, mais do que apenas com palavras. Essa teoria se orienta por três princípios:

- a) duplo canal, segundo o qual o ser humano possui canais separados para processar imagens e sons;
- b) capacidade limitada, segundo o qual o ser humano possui uma capacidade de processamento limitada em cada um desses canais;
- c) e processamento ativo, segundo o qual os seres humanos se envolvem na aprendizagem ativa de seleção de informações de entrada, organizando informações selecionadas em representações mentais coerentes e integrando representações mentais com o conhecimento prévio (Mayer, 2009, p. 63).

A Figura 1 apresenta um modelo de como se dá o aprendizado de acordo com a TCAM. O princípio do duplo canal é representado por ambas as linhas no esquema, onde a linha superior representa o canal auditivo, enquanto a linha inferior representa o canal visual. A capacidade limitada é representada pelo retângulo da memória de trabalho e o processamento ativo pelas flechas indicando a sele-

ção e organização de palavras e imagens e pelas flechas indicando a integração dos modelos verbais e visuais com o conhecimento prévio do aprendiz.

Figura 1 – Esquema da Teoria Cognitiva de Aprendizagem Multimídia



Fonte: Adaptado de Mayer (2009, p. 62) e Lima-Duarte e Reinaldo (2019).

Uma apresentação multimídia é composta por palavras e imagens, representadas ao lado esquerdo na imagem. O segundo quadro representa a memória sensorial, que vai envolver a audição (orelhas) e a visão (olhos). A via de entrada sensorial das imagens é a visão, enquanto as vias de entrada sensorial das palavras podem ser tanto a visão quanto a audição, a depender se se trata de palavras escritas ou faladas. As informações da memória sensorial possuem vida curta, mas parte delas são selecionadas pelo aprendiz e transferidas à memória de trabalho, onde ele pode organizar sons e imagens brutos (à esquerda na figura) em um modelo verbal e um modelo pictorial, respectivamente (à direita na figura), com conexões entre ambos.

As flechas entre “sons” e “imagens” representam a capacidade de um som, como, por exemplo, aquele referente ao nome de um objeto, produzir a imagem do mesmo objeto na memória de trabalho, e vice-versa. Por fim ocorre a integração do modelo pictorial e verbal com o conhecimento prévio ativado da memória de longo prazo. O novo conhecimento pode, por fim, ser armazenado na memória de longo prazo, que possui capacidade ilimitada para o conhecimento significativo (Mayer, 2009; Mayer, 2021).

Mayer (2021) propõe um total de 14 princípios baseados em evidência a partir de estudos prévios a na TCAM para o design de vídeos educacionais. Cada princípio (com exceção do princípio multimídia) possui um dos três seguintes objetivos:

- a) reduzir o processamento estranho, ou seja, aquele processamento que não serve ao objetivo instrucional, removendo elementos desnecessários;
- b) gerenciar o processamento essencial, aquele que se refere aos conteúdos essenciais de acordo com o objetivo de aprendizagem da apresentação multimídia;
- c) e promover o processamento gerativo (aquele pelo qual o aprendiz organiza as informações em novo conhecimento de forma ativa, representado pelas flechas de “organização” e “integração” na Figura 1) a partir de estratégias que promovam a motivação do estudante.

A Tabela 2 apresenta cada um dos princípios propostos por Mayer, juntos de sua descrição e exemplo de aplicação em videoaulas.

Tabela 2 – Princípios baseados em evidências para a produção de videoaulas

Princípio	Descrição	Exemplo
Multimídia	Apresentar palavras e gráficos ao invés de apenas palavras	Vídeo apresenta palavras e gráficos
Reduzir processamento estranho		
Coerência	Evitar materiais estranhos ao objetivo central da videoaula	Evitar slides com grandes logos ou planos de fundo coloridos
Sinalização	Indicar conceitos centrais	O instrutor aponta àqueles elementos aos quais se refere
Redundância	Não adicionar legendas à narração	Vídeo não contém legendas (exceto quando as palavras são técnicas ou no segundo idioma do aprendiz)
Contiguidade espacial	Posicionar textos próximos às partes correspondentes nos gráficos	Slides contém palavras próximas aos gráficos correspondentes
Contiguidade temporal	A narração é sincronizada com o material visual	A narração do instrutor é sincronizada com os slides
Gerenciar processamento essencial		
Segmentação	Segmentar uma aula complexa em partes sucessivas sob o controle do aprendiz	Permitir que o estudante pressione um botão para dar segmento ao próximo slide da videoaula
Pré-formação	Providenciar uma formação prévia sobre os nomes e características dos conceitos centrais	O vídeo apresenta uma introdução com nomes e características dos conceitos centrais
Modalidade	Apresentar palavras no formato de narração	O vídeo inclui a voz do instrutor

Princípio	Descrição	Exemplo
Estimular processamento gerativo		
Personalização	Usar linguagem coloquial	Instrutor fala em primeira e segunda pessoa usando expressões como “eu”, “você”, “nós”, e/ou “vamos”
Voz	Usar voz humana agradável	Instrutor fala com voz amigável que transmite uma emoção positiva
Imagem	Não apresentar imagem estática do instrutor	O vídeo não contém uma janela com a foto do instrutor
Personificação	Apresentar gestos do instrutor	Instrutor escreve e desenha no quadro na medida em que leciona; instrutor mantém contato visual enquanto leciona; instrutor faz gestos dinâmicos na medida em que leciona; etc.
Atividade gerativa	Inserir atividades de aprendizado gerativas	O instrutor orienta o estudante a escrever uma breve explicação de cada etapa do vídeo

Fonte: Adaptado de Mayer (2021).

Portanto, os objetivos deste estudo foram identificar, classificar e analisar videoaulas distribuídas pelo YouTube, produzidas nos idiomas inglês e português, que abordam o uso dos simuladores PhET no contexto do ensino de química.

2 DESCRIÇÃO METODOLÓGICA

O trabalho desenvolvido se trata de uma pesquisa documental, cuja primeira etapa envolveu uma busca na plataforma YouTube pelos resultados da expressão “PhET Química”, realizada em junho de 2021, e pela expressão “PhET Chemistry”, realizada em agosto de 2021. Ambas as pesquisas foram realizadas em uma janela anônima do navegador Google Chrome, ou seja, sem uma conta logada associada à pesquisa, visando a minimizar os efeitos da personalização dos resultados promovida pelo algoritmo da plataforma.

Para a análise foram considerados os 12 primeiros vídeos apresentados pelo YouTube conforme sua indexação por “relevância”, que é a maneira usual da apresentação dos resultados da busca, segundo o algoritmo de sistema de recomendação do site, que possui uma lógica baseada em diver-

os fatores, tais como número de acessos, tempo de exibição, engajamento, entre outros. O número escolhido se deve a característica de ordenação dos vídeos pela plataforma, que inicialmente destaca os primeiros 12 por relevância, após apresenta outros vídeos de assuntos correlacionados, para então voltar a apresentar mais vídeos que retornam à expressão de busca. Vídeos duplicados foram desconsiderados, dessa forma o *corpus* para a análise foram 12 vídeos em português e 11 em inglês, conforme listados na Tabela 3.

Tabela 3 – Vídeos selecionados pelo YouTube, conforme critério de “relevância

Vídeo	Canal	Link	Data da inclusão	Visualizações	Gostei	Não gostei	Comentários	Duração (minutos)
Expressão de busca “PhET Química”								
Q1	Deu Química! Zé Geraldo	https://youtu.be/FuL9ZrSm_ml	25/03/2020	928	35	1	2	10:31
Q2	Você só dá aula?	https://youtu.be/K1MNpXInnQE	02/06/2019	7327	446	4	31	21:34
Q3	Química Invertida/ Prof. Minzon	https://youtu.be/3Sc6NYIAJjs	05/04/2020	1612	55	0	0	5:23
Q4	Vagnão da Química	https://youtu.be/sw3JA8XaUb8	18/06/2020	545	23	1	3	13:17
Q5	Universidade da Química	https://youtu.be/CmOvzZKI4IQ	20/09/2020	1893	401	2	158	12:05
Q6	DAQ UFPE	https://youtu.be/F5qGyRYmbEo	25/03/2021	178	31	0	12	9:20
Q7	ExataMente	https://youtu.be/V06e4tug00A	03/10/2020	224	26	0	2	9:25
Q8	Química Invertida/ Prof. Minzon	https://youtu.be/1ARiXqMx7ao	05/04/2020	204	4	0	1	6:20
Q9	Deu Química! Zé Geraldo	https://youtu.be/RCT2RyxNwAs	22/03/2021	20	1	0	0	5:13
Q10	Caio Faiad	https://youtu.be/VyJdK2riq-U	26/03/2019	870	44	1	5	7:14
Q11	Professor Original	https://youtu.be/K62CMPyymLg	28/10/2020	160	17	0	0	9:42

Vídeo	Canal	Link	Data da inclusão	Visualizações	Gostei	Não gostei	Comentários	Duração (minutos)
Q12	Física com Mestre Roger	https://youtu.be/z4cibcLgyOo	25/04/2019	2994	64	1	3	6:46
Expressão de busca “PhET Chemistry”								
C1	Sarah English	https://youtu.be/ygzuzakgvH4	09/07/2020	1036	12	0	1	18:27
C2	Straight Science	https://youtu.be/k74YGRT1kek	11/03/2020	2.464	22	3	0	5:44
C3	Wortho’s Math and Science Help	https://youtu.be/wGEV7JPRcC8	03/04/2020		119	8	8	4:12
C5	Melanie Edens	https://youtu.be/H3rrOt9ma2E	15/07/2020	944	8	1	0	4:48
C6	Engineering Made Easy	https://youtu.be/q_c5iBkszQ	01/06/2020	3321	39	3	2	8:18
C7	John Collier	https://youtu.be/AAHuIF3pHsg	17/04/2020	300	6	1	0	4:06
C8	MsRScienceClassK12	https://youtu.be/18MAziyrTQs	13/02/2019	907	4	0	0	8:53
C9	David Walsh	https://youtu.be/w1wOw-frclg	28/07/2016	7080	29	5	0	9:22
C10	Erik Lopez	https://youtu.be/lfOsdkFAQ-M	30/03/2020	575	5	1	2	2:19
C11	Royal Society Of Chemistry	https://youtu.be/IQtP5Uok7Ng	23/11/2015		20	3	0	0:44
C12	ChemSims Project	https://youtu.be/pfwV9GYvCkU	09/08/2019	2039	16	1	2	6:07

Fonte: Elaboração própria.

Os vídeos foram designados com letras e números de acordo com o idioma e a posição de relevância da busca (por exemplo, o vídeo Q3 se refere ao terceiro vídeo apresentado da busca por “PhET Química”, enquanto o vídeo C12 é o décimo segundo vídeo da busca por “PhET Chemistry”). Os dados de ambos os conjuntos de vídeos foram inicialmente agrupados em uma planilha incluindo título do

vídeo, canal, link, duração, data de publicação, idioma, disponibilidade e idioma da legenda, número de seguidores, número de visualizações, número de avaliações do tipo “gostei” e do tipo “não gostei” e número de comentários. Na Tabela 3 apresentamos, por limitação de espaço, uma parte da planilha que descreve as características dos vídeos que compuseram o *corpus* para a análise.

Após a coleta e descrição dos vídeos, a análise foi feita de acordo com as indicações de Mayer (2021), que apresenta um total de 13 princípios para o design de vídeos educacionais baseados nas evidências de seus estudos prévios e na Teoria Cognitiva de Aprendizado Multimídia (TCAM), listados previamente na Tabela 2.

Cada princípio possui um dos três seguintes objetivos: (a) reduzir o processamento (pelo estudante) que não serve ao objetivo instrucional removendo elementos desnecessários (*extraneous processing*); (b) otimizar a complexidade do material (*essencial processing*); e (c) promover a motivação do estudante (*generative processing*). Descrição e exemplos de cada princípio são encontrados na Tabela 4. Para cada um dos itens avaliados, utilizou-se a seguinte classificação: (S) para vídeos que exploram o que se sugere no critério satisfatoriamente; (N), quando não exploram; (P), quando exploram apenas parcialmente; ou então (NA), para vídeos em que o critério não se aplica.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

As produções selecionadas parecem abranger tanto vídeos amadores (ou de *youtubers* iniciantes) quanto profissionais (mais bem acabados, produzidos por usuários experientes, até por influenciadores), pertencendo a canais com um número de seguidores que variam de 8 a 115.000. O número de visualizações variou de 20 a 17.388, sugerindo uma popularidade também bastante distribuída. As videoaulas apresentaram, no geral, um pequeno número de avaliações do tipo “gostei” ou “não gostei”, com apenas os vídeos Q2, Q5 e C3 superando uma centena de avaliações do tipo “gostei”. O número de comentários também foi reduzido para a maior parte dos vídeos, com exceção do vídeo Q5 que apresentou 158 comentários.

Os vídeos selecionados, em sua maior parte, foram publicados recentemente, entre os anos de 2019 e 2021. As exceções se deram para os vídeos C9, publicado em 2016, e para o C11, publicado em 2015.

A maioria dos vídeos possui apenas legendas autogeradas, um recurso da plataforma YouTube. A duração média apresentada pelos vídeos foi de 5 a 10 minutos, com destaque para os vídeos Q2 e C1, ambos vídeos exploraram e apresentaram de forma mais delongada o projeto PhET, e por isso apresentaram uma duração em torno de 20 minutos. Também se pode destacar o vídeo C11, um *teaser* de apenas 44 segundos produzido pela *Royal Society of Chemistry*, apresentando o projeto PhET e o simulador “Monte um Átomo”, com um conteúdo pouco denso para ser amplamente explorado neste trabalho.

Grande parte dos vídeos foram publicados por professores independentes (PI). Apenas dois vídeos foram publicados por universitários (TA), os vídeos Q6 e Q7. Um vídeo foi publicado por instituição (IN), o vídeo C11, e outro por grupo de pesquisa, o vídeo C12.

A seleção de vídeos no idioma português resultou uma distribuição de vídeos do tipo conceitos de química (CQ) e ensino de química (EQ), enquanto vídeos em inglês apresentaram um público alvo de

estudantes de química no geral. Ainda que os dados sejam insuficientes para afirmar categoricamente, esse resultado sugere um esforço maior no sentido de divulgar para docentes o próprio projeto PhET no idioma português, idioma estranho àquele de origem do projeto.

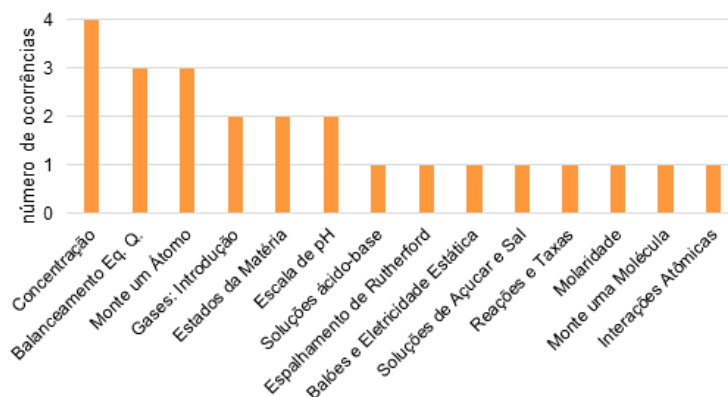
3.1 CONCEITOS DE QUÍMICA E ABORDAGEM DE ENSINO

A seleção apresentou uma distribuição equilibrada entre vídeos para estudantes - do tipo conceitos de química (CQ) - e para professores - do tipo ensino de química (EQ) -, ainda que tenham predominado vídeos do tipo (CQ). O vídeo C10 não pode ser claramente classificado em quaisquer das categorias. Daqueles vídeos que tratam de conceitos de química, todos tratam de conceitos de química ao nível da escola básica (ensino médio, ou secundário), e não em nível superior, sugerindo uma maior aplicabilidade do tema para a disciplina escolar química.

Nem todas as videoaulas trataram de simuladores de química, mas aquelas que trataram, discutiram basicamente os conceitos trabalhados no próprio simulador. Por exemplo, aquelas videoaulas que trataram do simulador “Concentração”, um simulador que permite preparar, diluir, submeter à evaporação, saturar e medir a concentração soluções, tratavam do conceito de “soluções”, além de conceitos relacionados como concentração, saturação e evaporação.

O simulador que apresentou maior ocorrência foi “Concentração”, seguido por “Balançamento de Equações Químicas” e “Monte um Átomo”. Os simuladores “Gases: Introdução” e “Estados da Matéria” e “Escala de pH” apresentaram duas ocorrências, enquanto os restantes encontrados apresentaram apenas uma ocorrência. Somaram-se 14 simuladores tratados nos vídeos. Os dados referentes ao número de ocorrências de simuladores podem ser visualizados no gráfico da Figura 2.

Figura 2 – Número de ocorrências de cada simulador PhET nas videoaulas



Fonte: Elaboração própria.

O projeto PhET possui atualmente um total de 162 simuladores, dos quais 54 tratam de química segundo o filtro por área disponível no próprio site do projeto. Destes, apenas 52 possuem compatibili-

dade HTML5 ou Java, e outros dois possuem compatibilidade Flash Player e não estão acessíveis dado o término da vida útil do software, desde janeiro de 2021. A distribuição desigual na Figura 2 sugere alguma preferência dos professores por aqueles simuladores com alguma recorrência, dada à diversidade de simuladores disponíveis na plataforma e, portanto, um potencial para a sua exploração diversificada.

3.2 RESULTADOS DA ANÁLISE TCAM

O primeiro princípio a ser avaliado à luz da Teoria Cognitiva de Aprendizagem Multimídia (TCAM) foi o próprio princípio multimídia, segundo o qual as pessoas aprendem melhor por meio de palavras e gráficos do que apenas palavras (Mayer 2009).

A análise do critério “multimídia” resultou numa predominância de vídeos que exploraram tanto narração ou legendas quanto gráficos, imagens ou animações de forma satisfatória. As exceções foram os vídeos Q4, classificado como (P), pois na parte inicial do vídeo foram subutilizados recursos pictóricos, e o vídeo Q6, classificado como (N), porque na maior parte do vídeo não utilizou esses mesmos recursos. O vídeo Q6 possui um público alvo de professores ou estudantes da educação (EQ), e nele é apresentado um trabalho acadêmico (TA) de classificação dos simuladores PhET, sendo o único com esse objetivo dentre todos os vídeos analisados. Ainda assim optou-se por manter a análise dessa produção no trabalho. As videoaulas restantes apresentaram todas uma predominância de narração acompanhada por gráficos, que na sua maior parte são os próprios gráficos dos simuladores do PhET.

Neste artigo, focamos principalmente na discussão dos princípios para promover o processamento gerativo. Os resultados gerais globais da análise fundamentadas na TCAM podem ser encontrados em Müller (2021).

3.3 PRINCÍPIOS PARA ESTIMULAR O PROCESSAMENTO GERATIVO

O primeiro princípio citado por Mayer (2021) para estimular o processamento gerativo é o princípio da personalização, segundo o qual as pessoas aprendem melhor quando se usa palavras em linguagem coloquial, e não em linguagem formal. A maioria dos vídeos se adequaram com essa premissa, apresentando uma narração que “conversa” com o aprendiz pelo uso de expressões em primeira e segunda pessoa como “você pode...” ou “vamos lá”, e por isso foram classificados como (S). Um exemplo do uso desse tipo de linguagem pode ser encontrado na videoaula Q2, aos 3 minutos, quando a apresentadora diz: “Vou mostrar uma simulação de cada, e vocês vão ver que é muito tranquilo”. Ou então, aos 3 minutos e 40 segundos da videoaula C1, quando a apresentadora diz, conforme nossa tradução: “Vamos falar agora sobre compatibilidade [dos simuladores]”.

Dentre os vídeos que apresentaram uma linguagem mais formal, Q6 e Q7, ambos possuem professores e estudantes da área de ensino como público alvo (EQ) e são vídeos da classe (TA), ou seja, de origem de projeto ou trabalho acadêmico. Segundo Mayer (2009), a personalização deve ser mais efetiva quando o aprendiz é iniciante, o que não é o caso do público de ambos os vídeos.

O princípio da voz enuncia que uma voz humana pode afetar o aprendiz no sentido de ele sentir uma “presença social” capaz de motivar o estudante (MAYER, 2009). Todos os vídeos estudados apre-

sentaram voz humana. Não foram encontrados vídeos que apresentassem voz sintética. De forma similar ao uso de linguagem coloquial segundo o princípio da personalização, o uso da voz humana é acessível e o seu uso ser comum em vídeos da plataforma, e espera-se encontrar esse tipo de narração em uma busca pelas palavras-chave usadas aqui.

Foram identificadas, no entanto, variações de emoções nas narrações. A maioria dos vídeos foi classificada como capaz de despertar uma emoção positiva, ainda que uma emoção de alegria, para aquelas narrações mais vivazes, ou então uma emoção de contentamento, para narrações que não compartilhassem a mesma dinamicidade e vivacidade das anteriores, mas ainda assim passassem uma emoção positiva. Todos esses vídeos foram classificados como (S), e apenas quatro vídeos foram classificados como (P), vídeos que apresentaram uma narração um pouco mais monótona e uma emoção que se aproximou, por exemplo, do tédio.

A ideia de inserir a imagem do instrutor a uma apresentação possui uma fundamentação semelhante aos princípios da personalização e voz, ou seja, a ideia de que essa inserção deve despertar um sentimento ou presença social no aprendiz que deve contribuir para sua motivação no aprendizado. Por outro lado, essa mesma imagem pode promover processamento estranho, atrapalhando o aprendizado, já que o processamento da imagem do instrutor pelo aprendiz deve competir com o processamento do material relevante (processamento essencial) na medida em que o aprendiz olha ora para a imagem do instrutor, ora para os gráficos da apresentação multimídia (Mayer, 2009; Fiorella; Mayer, 2018).

Mayer (2021) pontua que, de acordo com o princípio da imagem, o aprendizado não é mais eficiente quando a imagem estática do instrutor é inserida na apresentação. Uma das razões é a de que a imagem estática pode parecer antinatural e distrair o aprendiz.

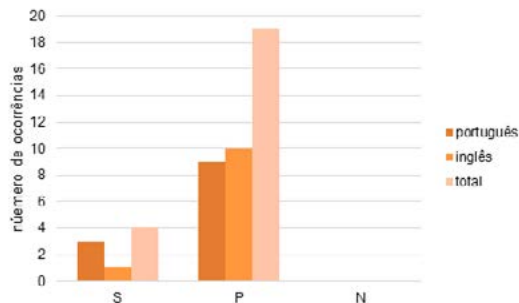
De acordo com o critério de classificação para princípio da imagem, analisou-se a presença apenas de imagens estáticas do apresentador para esse critério, o que não foi apresentado por nenhuma videoaula dentre as analisadas. Todas foram classificadas como (S). Para além de uma mera imagem estática, a imagem personificada do instrutor parece ser promissora para a aprendizagem multimídia, isto é, quando o instrutor usa seu corpo de forma engajada na condução do processamento cognitivo do aprendiz (por exemplo, quando ele aponta em direção a imagens ou ao quadro, de acordo com o princípio da sinalização). Fiorella e Mayer (2018), tratando de estudos referentes a presença da imagem do instrutor, sugerem que ela é um forte atrativo social, mas não é claro quando essa presença pode ser distrativa o suficiente para prejudicar o aprendizado.

Mayer (2021) afirma que a presença do instrutor pode ser importante quando ele gesticula de forma dinâmica enquanto leciona, desenha no quadro (ao invés de simplesmente sinalizar gráficos ou desenhos já desenhados ou construídos), e mantém contato visual com o aprendiz. Tais práticas são associadas ao princípio da personificação, somadas ainda a importância de que a filmagem seja feita numa perspectiva em primeira pessoa, ao contrário de terceira pessoa. Ou seja, deve-se dar preferência a uma tela que mostre a visão do próprio instrutor ao realizar uma tarefa que envolva manipulação ou modificação das imagens, como, por exemplo, quando o professor desenha no quadro ou, no caso das videoaulas tratando dos simuladores, quando o professor manipula o simulador.

A maioria dos vídeos foi classificada como (P), como pode ser observado no gráfico da Figura 3, e isso se deve ao fato de que a maioria dos vídeos usaram captura de vídeo da tela do computador como

um recurso para mostrar os simuladores PhET bem como a manipulação do simulador pelo instrutor. Ainda que essa seja talvez a única maneira de mostrar o funcionamento dos gráficos PhET, ela está de acordo com o princípio da personificação pois proporciona uma perspectiva em primeira pessoa.

Figura 3 – Gráfico dos resultados para a análise do princípio de personificação



Fonte: Elaboração própria.

Outros 4 vídeos foram classificados como (S) porque, além da perspectiva em primeira pessoa, eles apresentaram a imagem do instrutor fazendo contato visual ou gesticulando, muito embora a gesticulação foi algo bastante subutilizado mesmo nesses vídeos. Um exemplo de contato visual usado na videoaula C2 pode ser encontrado na Figura 4. A técnica é usada em boa parte da videoaula, ainda que, naqueles momentos em que a instrutora realiza operações no simulador, ela muda sua posição, perdendo o contato visual com o espectador.

Figura 4 – Captura de tela exemplificando contato visual no vídeo C2

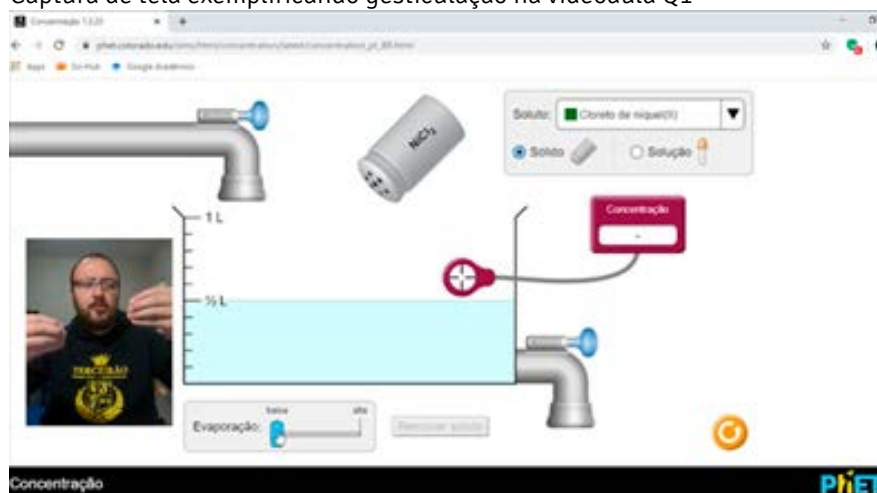


Fonte: Elaboração própria, a partir de <https://youtu.be/k74YGRT1kek>.

Um exemplo de gesticulação tal qual usado na videoaula Q1 pode ser encontrado na Figura 5. O professor gesticula em grande parte do vídeo de uma forma a enfatizar os conceitos chave da sua narração de uma maneira que parece estar de acordo com o princípio da sinalização, ainda que essa técnica não se trate de uma prática efetiva baseada em evidência para vídeos educacionais citada por Mayer (2021). Aos 4 minutos e 10 segundos da apresentação (Figura 5), ele posiciona suas mãos, ambas a frente de seu corpo, para representar a evaporação de partículas enquanto explicava o conceito de pressão de vapor.

Ademais, devido ao enquadramento usado, muitos gestos se tornam ilegíveis ou não plenamente claros. Um exemplo disso se dá aos 6 minutos 40 segundos de vídeo, quando o apresentador fala da evaporação da água e enfatiza a expressão “água” por meio de um gesto com o qual suas mãos se afastam uma da outra em direção às laterais até uma posição não visível devido o enquadramento utilizado.

Figura 5 – Captura de tela exemplificando gesticulação na videoaula Q1



Fonte: Elaboração própria, a partir de https://youtu.be/FuL9ZrSm_ml

Como último critério segundo a TCAM os vídeos foram analisados segundo o uso de atividade gerativa. Mayer (2009) sugere que o aprendizado significativo ocorre como um resultado da atividade do estudante durante a aprendizagem. No contexto da aprendizagem com o uso de vídeos educacionais, a inserção de comandos para o estudante se engajar ativamente deve promover aprendizagem.

A maioria parte do corpo de análise não propõe nenhum tipo de atividade semelhante. De todos os vídeos analisados, apenas três, C5, C8 e C12, apresentaram alguma proposta de atividade que pudesse promover o engajamento do estudante e por isso foram classificados como (S). O vídeo C5, produção independente de uma professora (PI), trata-se de uma apresentação do simulador “Monte uma Molécula”, explicando seu funcionamento, resolvendo algumas etapas de atividades propostas no simulador e apresentando as visualizações de moléculas disponíveis no objeto de aprendizagem.

Ao final do vídeo a professora orienta a seus alunos a resolver as etapas restantes, ou seja, construir as moléculas propostas pelo simulador, como uma atividade escolar que deveria ser entregue à professora

como uma captura de tela das moléculas construídas. A atividade proposta, que se resume à exploração do simulador, foi entendida como uma atividade gerativa porque envolveria o engajamento do estudante e sugere uma utilidade interessante para uso em sala de aula de ensino remoto ou ensino à distância.

O vídeo C8 se trata de um apoio para aquela proposta de atividade, de maneira semelhante a C5, mas com o uso de um guia exploratório. O uso de um guia aqui parece especialmente importante para o simulador “Concentração” usado no vídeo C8 em comparação ao simulador “Monte uma Molécula” usado em C5. Alguns simuladores possuem desafios característicos de jogos que podem ser mais ou menos explícitos, como no caso de “Monte uma Molécula”, que apresenta algumas etapas ou níveis, de forma semelhante a um jogo, com um design baseado em desafios em que o estudante é direcionado implicitamente a construir a molécula desejada (como pelo aparecimento ou não aparecimento do nome da molécula) (Lankaster *et al.*, 2013).

Esse tipo de feedback que indica se o estudante chegou ou não ao objetivo (que é responsável por uma “condução” do estudante, de acordo com o princípio da orientação implícita), não existe no simulador “Concentração”, que é mais focado em explorar o comportamento de um sistema com quantidades de solvente e solutos variáveis. Ou seja, o estudante possui mais liberdade por não haver operações que resultam em respostas “certas” ou “erradas” pelo simulador, o que pode ser interessante para o uso de atividades de investigação guiadas, mas que, sem guias exploratórios, pode resultar numa utilização superficial do recurso tecnológico, como pontuado por Paiva e Costa (2010).

Por fim, o vídeo C12 foi classificado como (S) no critério de atividade gerativa, pois, de forma semelhante a C8, o instrutor faz algumas demonstrações com o simulador e, naqueles momentos em que julga apropriado, pede para que o aluno faça pausas nos vídeos para responder as questões propostas de atividades já descritas anteriormente. Como uma observação adicional, essa mesma videoaula foi a única a não apresentar classificação (N) para o critério da segmentação, sugerindo que a proposição de pausas nos vídeos pode ser combinada com propostas de atividades gerativas realizadas pelo estudante no seu tempo, como ocorreu nessa videoaula.

Dentre todas as técnicas propostas por Mayer (2021), o uso de atividades gerativas parece se destacar no contexto dos simuladores PhET. Segundo Lancaster *et al.* (2013), a filosofia do desenho dos simuladores PhET é baseada na perspectiva teórica de que o conhecimento é construído a partir do engajamento ativo com o conteúdo. Sugerimos que essa ideia parece dialogar fortemente com a aprendizagem gerativa, proposta por Mayer (2009). Segundo Fiorella e Mayer (2015, p. 1, tradução nossa)

No que diz respeito à ciência da aprendizagem, a aprendizagem gerativa ocorre quando o aluno se envolve no processamento cognitivo apropriado durante a aprendizagem, incluindo prestar atenção às informações relevantes (ou seja, seleção), organizar mentalmente as informações recebidas em uma estrutura cognitiva coerente (ou seja, organização) e integrar as estruturas cognitivas entre si e com conhecimento prévio relevante ativado a partir da memória de longo prazo (isto é, integração).

Em outras palavras, na TCAM a aprendizagem significativa ocorre quando o estudante se engaja ativamente na seleção, organização e integração (Mautone; Mayer, 2001). Por essa razão, no contexto

das videoaulas como suporte para os recursos do projeto PhET, é importante não perder a qualidade ativa e interativa dos simuladores, evitando o uso do PhET como meramente demonstrativo e procurando colocar o estudante numa posição de maior centralidade nos processos de aprendizagem e ensino.

4 CONCLUSÕES

No decorrer desta pesquisa metodologia usada, mais especificamente quanto à seleção do material, acabou selecionando vídeos muito distintos entre si, que se enquadraram por vezes mais, por vezes menos nos critérios de análise propostos. A complexidade do tema escolhido (isto é, o fato de as videoaulas fazerem referência a outros objetos de aprendizagem – os simuladores – que, por sua vez, abordam conceitos de química) foi responsável por uma avaliação dificultosa no caso de muitos vídeos com público alvo de estudantes do nível médio, principalmente pelo seu caráter predominantemente demonstrativo, ainda que isso não tenha sido algo generalizado entre as videoaulas.

Critérios de seleção como vídeos com uma determinada duração mínima, um determinado público-alvo, um determinado conceito norteador da química, e eventualmente determinados canais da plataforma devem ser estudados em trabalhos futuros que possam minimizar esses problemas e selecionar um corpo de estudo com maior riqueza. Outra sugestão é a de que se possa abandonar a seleção por meio da busca por palavras chave, elaborando uma metodologia que possa refletir uma seleção realizada deliberadamente por educadores.

A metodologia fundamentada na TCAM construída neste trabalho parece promissora para novas análises de videoaulas. Ainda assim sua robustez pode ser ampliada pela elaboração de alguns pontos, como: i) aprimorar critérios de classificação de vídeos segundo uma linguagem coloquial ou formal para o princípio da personalização; ii) desenvolver uma metodologia mais adequada para a diferenciação entre os princípios da imagem e da personificação, principalmente naquilo que se refere ao uso de imagens não estáticas; iii) desenvolver a metodologia no sentido de incluir o uso de gestos na sinalização (o uso da gesticulação parece reforçar a sinalização na medida em que movimentos com mãos ou corpo são realizados de forma sincronizada com a narração); e iv) definir critérios mais robustos para avaliar a sinalização em videoaulas, especialmente quanto ao uso de expressões de sinalização como “primeiramente... em segundo lugar...” e expressões de ênfase.

Para o princípio da personificação, poder-se-ia, por exemplo, adicionar a questão da legibilidade referente ao correto enquadramento do vídeo em relação ao corpo do apresentador. Uma proposta para isso seria a análise quanto à “área útil” da videoaula e a adequada disposição dos elementos visuais na tela. Ademais, para o princípio da segmentação, dever-se-ia construir novas propostas de seleção dos vídeos propondo buscas por *playlists* (é possível fazer uma busca na plataforma do YouTube apenas por *playlists* utilizando os recursos de filtros).

Apesar dessas indicações sobre avançamentos de método de pesquisa e de avançamentos no quadro teórico, por outro lado, no decorrer deste texto corroboramos a sugestão de que os simuladores PhET podem ser uma ferramenta capaz de contemplar uma variedade de necessidades do professor por meio

das mesmas ferramentas que suportam o engajamento e exploração pelo estudante, providenciando, por exemplo, a oportunidade de ilustrar fenômenos em resposta aos questionamentos do estudantes (Moore *et al.*, 2014). Ainda assim, eles são desenhados de forma a priorizar um processo ativo de construção de conhecimento no qual a interatividade possui um papel central por possibilitar uma troca entre o simulador e o estudante, e de forma a envolver o processo de aprendizagem na ideia da compreensão dos conceitos, contrária à simples demonstração de conhecimento e respostas (Lancaster *et al.*, 2013).

Dessa forma, a contribuição central desta pesquisa sugere que as videoaulas que se propõem a tratar do projeto PhET não devam fazê-lo de uma forma demonstrativa, seja pela demonstração conceitos de química ou dos próprios simuladores. Pelo contrário, sempre que possível, os vídeos deveriam engajar o estudante, visando que eles se apropriem dos simuladores e explorem a sua interatividade de forma a extrair o maior aprendizado possível do recurso.

Dentro dessa discussão, sugerimos, por fim, que a inclusão de propostas de atividades gerativas que engajem o uso do simulador pelo estudante nas videoaulas, de forma semelhante àquelas apresentadas nos vídeos discutidos neste artigo, pode ser uma atitude que minimize o problema da subutilização dos recursos de interatividade bem como da inadequação com a proposta filosófica dos próprios simuladores PhET.

REFERÊNCIAS

- BEHAR, Patricia Alejandra. **O ensino remoto emergencial e a educação a distância**. 2020. Disponível em: <https://www.ufrgs.br/coronavirus/base/artigo-o-ensino-remoto-emergencial-e-a-educacao-a-distancia/>. Acesso em: 3 nov. 2021.
- COOPER, Paige. **How does the youtube algorithm work in 2021? the complete guide**. 2021. Disponível em: <https://blog.hootsuite.com/how-the-youtube-algorithm-works/>. Acesso em: 5 nov. 2021.
- COVINGTON, Paul; ADAMS, Jay; SARGIN, Emre. Deep Neural Networks for YouTube Recommendations. **Proceedings of the 10th ACM Conference on Recommender Systems**, p. 191-198, 7 set. 2016.
- FIORELLA, Logan; MAYER, Richard E. What works and doesn't work with instructional video. **Computers in Human Behavior**, v. 89, p. 465-470, 2018.
- JOHNSON, L.; BECKER, S. Adams; CUMMINS, M.; ESTRADA, V.; MEIRA, Adeline. **Perspectivas tecnológicas para o ensino fundamental e médio brasileiro de 2012 a 2017: uma análise regional do NMC Horizon Project**. Austin: The New Media Consortium, 2012.

LANCASTER, Kelly; MOORE, Emily B.; PARSON, Robert; PERKINS, Katherine K. Insights from Using PhET's Design Principles for Interactive Chemistry Simulations. *In*: SUITS, Jerry P.; SANGER, Michael J. (ed.). **Pedagogic roles of animations and simulations in chemistry courses**. Washington, D.C.: American Chemical Society, 2013. Cap. 5. p. 97-126

LEITE, Bruno Silva. **Tecnologias no ensino de química**: teoria e prática na formação docente. Curitiba: Appris, 2015.

LIMA-DUARTE, Flávia Karolina; REINALDO, Maria Augusta Gonçalves de Macedo. Uma proposta interdisciplinar de análise e elaboração de material audiovisual sob o viés da aprendizagem multimodal. **Interfaces Científicas - Educação**, Aracaju, v. 7, n. 3, p. 183-196, 2019.

MAUTONE, Patricia D.; MAYER, Richard E. Signaling as a cognitive guide in multimedia learning. **Journal of Educational Psychology**, v. 93, n. 2, p. 377-389, 2001.

MAYER, Richard E. **Multimedia learning**. Nova Iorque: Cambridge University Press, 2009.

MAYER, Richard E. Evidence-Based Principles for How to Design Effective Instructional Videos. **Journal of Applied Research in Memory and Cognition**, v. 10, n. 2, p. 229-240, 2021.

MOORE, Emily B; CHAMBERLAIN, Julia M.; PARSON, Robert; PERKINS, Katherine K. PhET interactive simulations: transformative tools for teaching chemistry. **Journal of Chemical Education**, v. 91, n. 8, p. 1191-1197, 2014.

MOORE, Emily B.; HERZOG, Timothy A.; PERKINS, Katherine K. Interactive simulations as implicit support for guided-inquiry. **Chemistry Education: Research and Practice**, v. 14, n. 3, p. 257-268, 2013.

MÜLLER, Rafael. **Vídeos do YouTube sobre as simulações interativas PhET de Química**: uma análise segundo a teoria cognitiva de aprendizagem multimídia. 2021. Trabalho de Conclusão de Curso (Licenciatura em Química) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS, 2021.

NUNES, Charles Silveira; EICHLER, Marcelo Leandro. O uso autogerenciado de videoaulas de química na preparação dos estudantes para exames de ingresso no ensino superior. **RENOTE - Revista Novas Tecnologias da Educação**, v. 16, n. 2, p. 636-646, 2018.

PAIVA, João Carlos; COSTA, Luiza Alves da. Exploration Guides as a Strategy To Improve the Effectiveness of Educational Software in Chemistry. **Journal of Chemical Education**, v. 87, n. 6, p. 589-591, 2010.

YOUTUBE (Estados Unidos). **Pesquisa do YouTube**. Disponível em: https://www.youtube.com/intl/ALL_br/howyoutubeworks/product-features/search/. Acesso em: 5 nov. 2021.

Recebido em: 28 de Outubro de 2022

Avaliado em: 19 de Fevereiro de 2023

Aceito em: 4 de Dezembro de 2023



A autenticidade desse artigo pode ser conferida no site <https://periodicos.set.edu.br>

1 Licenciado em Química (UFRGS), Técnico de Laboratório de Química (UFRGS) e professor de química de curso pré-vestibular popular Emancipa.

e-mail: rafmmuller@gmail.com

Orcid: <http://orcid.org/0000-0002-4879-5709>

2 Licenciado em Química (UFRGS) e Doutor em Psicologia do Desenvolvimento (UFRGS). Professor Adjunto no Instituto de Química (UFRGS) e docente permanente nos PPG Educação e PPG Educação em Ciências, na mesma universidade. e-mail: exlerbr@gmail.com

Orcid: <http://orcid.org/0000-0001-5650-9218>



Este artigo é licenciado na modalidade acesso abertosob a Atribuição-Compartilha Igual CC BY-SA

