

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
CENTRO DE CIÊNCIAS FÍSICAS E MATEMÁTICAS
DEPARTAMENTO DE QUÍMICA
CURSO DE LICENCIATURA EM QUÍMICA

Artur Eron Paludo Calai

**Limites e Potencialidades de Aplicativos *Android* para o Ensino de Química Quântica:
implicações à formação de professores**

Florianópolis
Março de 2022

Artur Eron Paludo Calai

Limites e potencialidades de aplicativos *Android* para o ensino de Química Quântica:
implicações à formação de professores

Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação em
Licenciatura em Química da Universidade Federal de
Santa Catarina como requisito para obtenção do título de
Licenciado em Química.

Orientador: Prof. Dr. Fábio Peres Gonçalves

Florianópolis

2022

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor, através do Programa de Geração Automática da
Biblioteca Universitária da UFSC

Calai, Artur

Limites potencialidades de Aplicativos Android para o ensino de Química Quântica : Implicações à formação de professores / Artur Calai ; orientador, Fábio Peres Gonçalves, 2022.

53 p.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) - Universidade Federal de Santa Catarina, Centro de Ciências Físicas e Matemáticas, Graduação em Química, Florianópolis, 2022.

Inclui referências.

1. Química. 2. Ensino de química. 3. Química Quântica. 4. Aplicativos. I. Peres Gonçalves, Fábio. II. Universidade Federal de Santa Catarina. Graduação em Química. III. Título.

Artur Eron Paludo Calai

**Limites e potencialidades de aplicativos Android para o ensino de Química Quântica:
implicações à formação de professores**

Este Trabalho Conclusão de Curso foi julgado adequado para obtenção do Título de “Licenciatura em Química” e aprovado em sua forma final pelo Curso de Licenciatura em Química

Florianópolis, 21 de março de 2022.

Profa. Danielle Marranquiel Henriques, Dra.
Coordenador do Curso

Banca Examinadora:

Prof. Fábio Peres Gonçalves, Dr.
Orientador
Universidade Federal de Santa Catarina

Prof. Giovanni Finoto Caramori, Dr.
Avaliador
Universidade Federal de Santa Catarina

Profa. Universidade Federal de Santa Catarina, Dra.
Avaliadora
Universidade Federal de Santa Catarina

Este trabalho é dedicado Aos meus queridos pais, e minha amada
vó Edite.

AGRADECIMENTOS

Este texto é resultado dos primeiros passos que realizei na minha trajetória no ensino de química. Como efeito, agradeço primeiramente a meus queridos pais, também aqueles a quem dedico o trabalho. Agradeço pelo incentivo ao estudo sempre presente. Tenho certeza que não mediram esforços e tive as melhores condições para crescer e me interessar pelo ensino de ciências. Em verdade, os cuidados de minha mãe Margarida para prestar atenção e me dedicar todos os dias está presente em cada linha do texto. De mesma forma, agradeço também ao meu pai Clodoaldo que sempre achei bastante habilidoso para com as palavras e tem seu eco também aqui. Agradeço a minha amada companheira Laura que esteve ao meu lado na elaboração da pesquisa pelo apoio emocional e criativo.

Agradeço de maneira geral à Universidade Federal de Santa Catarina pela formação de qualidade que tive, em âmbito profissional e cidadão.

Agradeço aos meus colegas do curso de Química pelas centenas de horas que tivemos em conversas, sala de aula, laboratórios e momentos de lazer.

Agradeço ao Giliandro, Jéssica, Pedro e professor Bernardo pelo grupo de pesquisa que tive um grande prazer em participar e tanto aprendi e formei laços fraternos.

Agradeço os professores do curso de Química da Universidade Federal de Santa Catarina que sempre me surpreenderam e atuam como verdadeiros facilitadores da aprendizagem desde o primeiro minuto em sala de aula. Em especial, ao professor Giovanni e as aulas onde tive o primeiro contato com a química quântica, a professora Luciana que tive maior contato no período da pandemia da graduação e tanto aprendi sobre o ensino de química, o planejamento teórico, e atuação profissional em sala de aula.

Agradeço ao professor Fábio, orientador deste trabalho que tive o prazer de assistir à muitas aulas. Obrigado pela amizade, conversas animadas e até discussões sobre arquitetura que tivemos. Sou muito grato com destaque para com o cuidado e rigor metodológico que pude aprender nesse processo multilateral que é realizar uma pesquisa de conclusão de curso.

RESUMO

Este trabalho representa um esforço de socialização e reflexão acerca de aplicativos *Android* para o ensino de Química Quântica. Apesar do uso frequente, poucos utilizam as tecnologias móveis (celulares e tablets) para o estudo formal, reservam-se para acessar redes sociais, acessarem sites de relacionamento e buscar notícias sobre a atualidade. Dessa forma, investigam-se potencialidades e limites de aplicativos *Android* já existentes para o ensino de química quântica, considerando a ampla adesão dessas tecnologias por parte dos aprendizes e professores. Como resultado foram identificados 5 aplicativos com potencial de uso para professores e aprendizes. Todos possuem características em comum: são gratuitos, simuladores e em inglês. Os conteúdos com maior ocorrência foram os Orbitais Atômicos e Orbitais moleculares. Dentro deste grupo, no que diz respeito à confiabilidade conceitual, três foram caracterizados como excelente, um como regular, e um como ruim. Foram identificados ainda limites técnicos no uso desses aplicativos como restrições nas versões gratuitas que podem inviabilizar seu uso em sala de aula, por exemplo. A pesquisa revelou que futuras investigações focadas neste grupo privilegiado de aplicativos podem contribuir na produção de materiais direcionados para planos de aula do ensino médio ou superior. Entre as implicações à formação de professores de química destaca-se, por exemplo, a necessidade de utilizar esses materiais entre docentes em atuação e formação inicial: empregar as tecnologias nas componentes curriculares de química quântica e componentes curriculares da área de ensino de química mediado pelas TDIC pode contribuir para que os professores e professores em formação desenvolvam maior proximidade com a química quântica e com o ensino de química por aplicativos.

Palavras-chave: Ensino de química. Química Quântica. Aplicativos.

ABSTRACT

This work represents an effort of socialization about Android applications for teaching Quantum Chemistry. Despite the frequent use, students do not apply mobile technologies (cell phones and tablets) for formal study, they reserve themselves to access social networks, dating websites and news reading. Potentialities and limits of currently existing Android apps for teaching quantum chemistry were investigated. Considering the wide use of these technologies by students and teachers. As for the results, 5 applications with potential use for teachers and students in learning quantum chemistry were identified. All of them have features in common: they are free, simulators and in English. The most frequent contents were the Atomic Orbitals and Molecular Orbitals. Within this group, with regard to conceptual reliability, three were characterized as Excellent, one as Regular, and one as Poor. Technical limits were also identified in the use of these applications, such as the language and restrictions on the free versions that may hinder their use in the classroom, for example. The research revealed that future investigations focused on this privileged app group might contribute to content production aimed at high school or higher education lesson plans. About the implications for the training of chemistry teachers, for example, the need to use these materials among teachers in practice and initial training stands out: employing technologies in the curricular components of quantum chemistry and curricular components of the chemistry teaching area mediated by communication technologies can help teachers and training teachers to develop greater proximity to quantum chemistry and to teaching chemistry through applications.

Keywords: Chemistry Education, Quantum Chemistry, Apps.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Percentual dos entrevistados segundo a frequência declarada de consumo de informação sobre ciência e tecnologia, por meios de divulgação	17
Figura 2 – Percentual dos entrevistados que se declaram “preocupados” ou “muito preocupados” sobre alguns temas.....	18
Figura 3 – Mensagem com informações falsas propagadas na rede social <i>WhatsApp</i>	19
Figura 4 – Parâmetros de exclusão dos aplicativos encontrados.....	26

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Aspectos Gerais dos Aplicativos	26
Tabela 2 – Aspectos Gerais dos Aplicativos	26
Tabela 3 – Aspectos Técnicos	26
Tabela 4 – Comparação quantitativa dos resultados obtidos em pesquisas sobre ensino de química e aplicativos	30
Tabela 5 – Aplicativos com maior potencial selecionados para o ensino de química quântica.....	31
Tabela 6 – Análise dos aspectos gerais	31
Tabela 7 – Análise dos aspectos técnicos.....	35
Tabela 8 – Síntese da caracterização dos Aspectos Educacionais.....	38

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ANATEL	Agência Nacional de Telecomunicações
AVA	Ambientes Virtuais de Aprendizagem
BNCC	Base Nacional Comum Curricular
C&T	Ciência e Tecnologia
CGEE	Centro de Gestão e Estudos Estratégicos
IDEB	Índice de Desenvolvimento da Educação Básica
INAF	Indicador de Alfabetismo Funcional
MCTIC	Ministério da Ciência, Tecnologia, Inovações e Comunicações
OCN	Orientações Curriculares Para o Ensino Médio
PCN+	Parâmetros Curriculares Nacionais Ensino Médio
PIBID	Programa Institucional de Bolsa de Iniciação à Docência
PISA	Programa Internacional de Avaliação de Alunos
SAEB	Sistema de Avaliação da Educação Básica
TDIC	Tecnologias Digitais de Informação e Comunicação

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	13
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	15
2.1	EDUCAÇÃO E TECNOLOGIAS DIGITAIS DA INFORMAÇÃO E COMUNICAÇÃO (TDIC)	15
2.2	PSEUDOCIÊNCIAS	20
2.3	O ENSINO DE QUÍMICA QUÂNTICA	20
2.4	O USO DE CELULAR PELOS ESTUDANTES NAS ESCOLAS	21
2.5	APLICATIVOS COMO FERRAMENTAS METODOLÓGICAS.....	23
3	METODOLOGIA.....	25
3.1	MÉTODOS DE ANÁLISE EMPREGADOS.....	25
3.2	ASPECTOS CURRICULARES DA METODOLOGIA.....	28
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	30
4.1	ANÁLISE DOS ASPECTOS GERAIS	31
4.1.1	Sobre o idioma dos aplicativos.....	32
4.1.2	Sobre as notas dos aplicativos.....	32
4.1.3	Sobre os conteúdos com maior incidência	33
4.2	ANÁLISE DOS ASPECTOS TÉCNICOS.....	35
4.2.1	Sobre as funcionalidades restritas à internet	36
4.2.2	Sobre as restrições de acesso ao conteúdo	36
4.3	ANÁLISE DOS ASPECTOS EDUCACIONAIS	38
4.3.1	Sobre a caracterização da confiabilidade conceitual e erros encontrados	39
4.3.2	Sobre a caracterização dos aplicativos com excelente confiabilidade conceitual.....	42
4.3.3	Sobre os níveis de ensino	43
4.3.4	Sobre as características de abordagem do aplicativo	44
4.3.5	Sobre a presença de atividades avaliativas.....	44
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS E IMPLICAÇÕES À FORMAÇÃO DE PROFESSORES DE QUÍMICA.....	45
	REFERÊNCIAS.....	49

1 INTRODUÇÃO

É necessário um esforço para imaginar um mundo conectado como o presente sem os livros, computadores ou telas em geral, como televisores e celulares. Tem se observado um crescimento sem precedentes no consumo das tecnologias móveis que hoje estão ao alcance do toque de professores e alunos. Um observador pode concluir que, futuramente, imaginar a educação separada dos dispositivos móveis de comunicação será impossível.

Na perspectiva dos dispositivos de acesso às tecnologias de comunicação, isto é, das ferramentas nas quais se empregam para consumir suas informações, existe predominância nos dispositivos móveis. Em geral, a população brasileira acessa a internet por meio de planos de rede móvel. Há um número significativamente menor de modems *wi-fi* nas casas dos brasileiros. Para ser mais exato, segundo a Agência Nacional de Telecomunicações (ANATEL, 2020), 89,02 é a densidade de Telefonia Móvel por 100 habitantes no Brasil.

Pesquisadores já se debruçaram na questão de pesquisa dos motivos que levam os alunos a acessarem os celulares. Em sua maioria, antes do contexto de ensino remoto que emergiu durante a pandemia, os estudantes não empregavam os dispositivos móveis para o aprendizado “formal” dos conteúdos trabalhados em sala (NAGUMO; TELES, 2016). O próprio termo formal pode ser discutido. Neste caso, não diz respeito à utilização do celular em sala para pesquisa bibliográfica, como um substituto ou auxiliar ao livro didático. Mas refere-se ao emprego do telefone celular para estudo dos conceitos que são trabalhados na escola. Em geral, observa-se certo atraso no acompanhamento metodológico por parte das instituições e legislação. É necessário, incluindo desta vez também o papel dos profissionais da educação, se apropriar dessas tecnologias, visto que estão presentes no dia a dia das populações – sem desconsiderar os processos de exclusão digital –, principalmente dos estudantes.

Se, por um lado, é evidente que os alunos se apropriaram dessas tecnologias de forma a expressar suas demandas por autonomia, conectividade onipresente e redes de práticas sociais compartilhadas (CASTELLS, 2009), por outro, é plausível defender que os profissionais da educação, neste caso professores de ciências se apropriem também das mesmas tecnologias para que possam ocupar, caso necessário, o papel de alfabetizador digital. Isto é, o ensino de química, muitas vezes está fundamentalmente associado à alfabetização científica dos

aprendizes. De maneira análoga, o ensino de química mediado pelas tecnologias carrega seus próprios símbolos dos quais os educadores precisam reconhecer a fim de bem atender seus alunos.

A alfabetização digital é um tema urgente, visto que são muitos usuários, que utilizam essas tecnologias diversas horas por dia todos os dias da semana – sobretudo em um contexto de ensino remoto durante a pandemia de Covid-19. Cumpre registrar que a experiência dos alunos no uso dessas tecnologias pode ser frustrante - por não se encontrar as informações que se deseja na rede ou ainda se apropriar de conceitos incorretos. Um educador consciente das ferramentas que seus aprendizes têm ao alcance e principalmente dos aplicativos adequados na mediação do ensino pode ajudar a minimizar o consumo de informações incorretas na rede.

As Tecnologias Digitais de Informação e Comunicação (TDIC) incorporadas no ensino de química vem sendo investigadas e descritas por autores como Giordan (2015) e Queiroz (2008). Existem grandes potencialidades de emprego de vídeos e simulações, por exemplo. Embora ambos os autores apontem que se observa maior popularidade entre as aplicações que envolvem interação social dos alunos como blogs, e ambientes virtuais de aprendizagem (AVA).

Ora, considerarmos aqui dispositivos com telas de alta resolução sensível ao toque, câmera de alta qualidade, relógios, cronômetros, calculadoras, enfim uma lista extensa demais para ser citada de tecnologias que podem ser carregadas no bolso. Ainda é relevante o fato de que todas essas ferramentas são planejadas de maneira intuitiva e existiam no mercado recentemente dispositivos acessíveis de baixo custo chegando em um mínimo de R\$ 290,00 como informado por Moura e Camargo (2020). No que diz respeito ao ensino de química, grande parte dos recursos associados às TDIC podem ser facilmente adaptados para os aparelhos móveis.

O estudo das técnicas e recursos sobre química quântica é pertinente quando consideramos as informações sobre o aprendizado desta componente curricular no Brasil. Os dados obtidos pela investigação demonstram baixos desempenhos nos indicadores educacionais (BRASIL, 2015); dos textos didáticos (PESSOA J, 2007; RAMOS, 2015); e formação de docentes insuficiente em número de profissionais (INEP, 2015) revelam que os aprendizes não possuem a melhor condição para se apropriar dos conceitos de química quântica.

Este problema culmina em uma população que pouco se informa sobre ciência e tecnologia, sendo mais suscetível ao consumo e propagação de pseudociências e mensagens falsas.

Diante do exposto, apresenta-se a seguir a questão de pesquisa e os objetivos do trabalho:

Questão de Pesquisa

Quais limites e potencialidades de aplicativos *Android* já existentes para o ensino de química quântica?

Objetivo Geral

Caracterizar, de acordo com parâmetros disponíveis na literatura, limites e potencialidades do ensino de química quântica mediado por aplicativos.

Objetivos Específicos

- Analisar aspectos gerais e técnicos de aplicativos para o ensino de química quântica.
- Analisar aspectos educacionais de aplicativos para o ensino de química.
- Colaborar no ensino de química quântica por meio da utilização de tecnologias digitais da informação e comunicação.
- Apontar implicações à formação de professores de química no que concerne ao estudo de aplicativos para o ensino de química quântica.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 EDUCAÇÃO E TECNOLOGIAS DIGITAIS DA INFORMAÇÃO E COMUNICAÇÃO (TDIC)

Defende-se uma tecnologia democrática que representa uma verdadeira revolução na troca de informações entre os indivíduos (ANGOTTI, 2015). Existe um caminho a ser percorrido pela educação brasileira. O ponto de partida são aprendizes que utilizam diariamente seus dispositivos móveis para diversos fins, e na minoria para o estudo (NAGUMO; TELES, 2016). E o ponto final é a escola (em sentido amplo do substantivo incluindo instituições de educação superior) alinhada com esses dispositivos que já não podemos chamar de novos.

De maneira reflexiva, hoje há dificuldade de imaginar a educação sem livros, e ainda sem a utilização de recursos como vídeos; slides; retroprojetores e televisões. Possivelmente no futuro ela estará indissociavelmente integrada com os dispositivos móveis. O primeiro degrau teórico deste trabalho é a descrição da relação entre educação e TDIC. Para Angotti (2015), as TDIC são tão relevantes que apontam chances de superação do desenvolvimento humano, nas suas relações e conhecimento.

A discussão do tema TDIC e educação deve ser acompanhada do papel da rede mundial de computadores. Dados indicam que as informações disponíveis na Internet são acessadas de maneira inédita para um público na escala dos bilhões de pessoas. Em janeiro de 2021 a população de usuários ativos na internet alcançou a marca de 4,66 bilhões - 59,5% da população global. Deste total, 92,6% (4,32 bilhões) acessaram a internet por meio de **dispositivos móveis** (STATISTA, 2021). Conectando bilhões de indivíduos na velocidade da luz, a internet é um pilar mestre da sociedade moderna da informação (JOHNSON, 2021).

Ainda assim, não é plausível argumentar que vivemos em uma sociedade com pleno entendimento de conceitos científicos. Parte disso deriva das próprias características da internet. Angotti (2015), por exemplo, argumenta ainda que não podemos nem mesmo considerar essas informações como conhecimentos. A informação se caracteriza por uma unidade, um elemento maneira desordenado (MORTIN, 2004), enquanto o conhecimento emerge de uma relação mais complexa: o aprofundamento e verificação pelas bases mais aceitas em cada época das informações.

A comunicação pela rede, considerada apenas pelas estatísticas citadas anteriormente, não é suficiente para gerar debate acerca de como a Ciência e Tecnologia (C&T) está integrada na internet, muito menos de como o ensino de química se insere no tema. Autores como Castelfranchi (2013), investigaram e caracterizaram as opiniões dos brasileiros acerca de C&T e concluíram que a maioria dos brasileiros possui uma visão otimista, confiante e que expressa, em geral, apoio à Ciência.

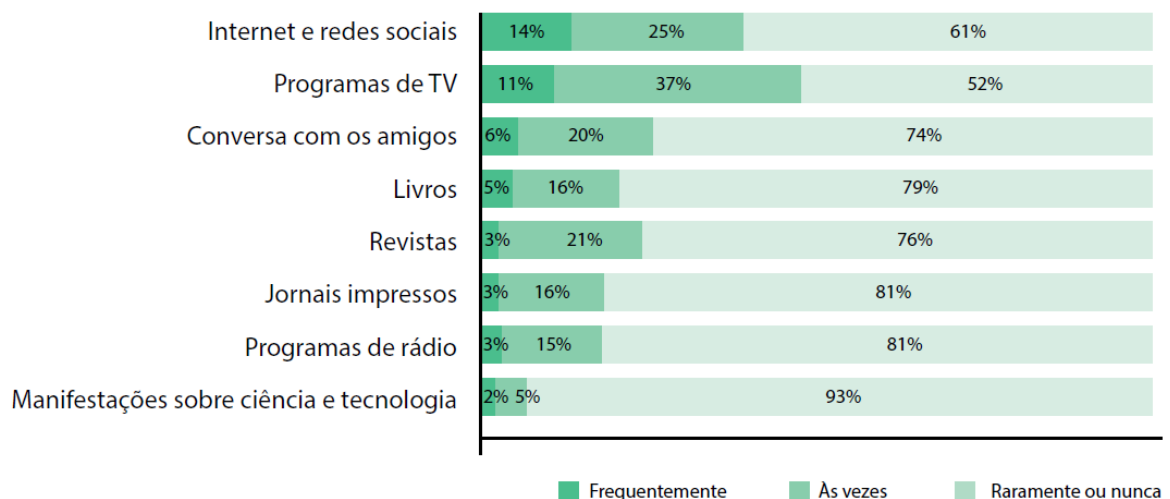
Existe um grupo consistente de pessoas (cerca de 60% dos brasileiros) que declara um elevado interesse em temas de C&T, mas possui um conhecimento escasso sobre tais temas e acessam pouca informação científica. Ao menos uma parte de tais pessoas é 'sincera': possui um interesse real por C&T (e também uma postura em geral otimista e positiva), porém interesse e atitudes não estão associados a uma busca ativa e concreta de maior informação na área (CASTELFRANCHI, 2013, p 1180).

Ora, conhecer as atitudes e as opiniões das pessoas sobre C&T e suas implicações econômicas, políticas ou éticas é parte fundamental das políticas públicas, mas também da fundamentação deste trabalho, visto que os aplicativos podem desempenhar um papel democrático de inclusão social e de acesso à informação. Castelfranchi (2013) utilizou como base um órgão nacional de integração entre o Ministério da Ciência, Tecnologia, Inovações e Comunicações (MCTIC) e o Centro de Gestão e Estudos Estratégicos (CGEE) que realizou diversas pesquisas sobre a percepção de C&T no Brasil em diferentes décadas.

No ano de 2019 o CGEE, realizou a quinta rodada da pesquisa sobre "Percepção Pública da Ciência e Tecnologia no Brasil". O estudo contou com a parceria do Instituto Nacional de Comunicação Pública da Ciência e Tecnologia (INCT-CPCT) e da Sociedade Brasileira para o Progresso da Ciência (SBPC). A pesquisa constitui importante subsídio para a tomada de decisão, formulação e implementação de estratégias e políticas públicas de C&T. Foram entrevistadas 2.200 pessoas acima de 16 anos, de todas as regiões do País.

Uma das principais contribuições deste trabalho foi identificar a frequência declarada de consumo de informação sobre C&T, por meios de divulgação (Figura 1).

Figura 1 - Percentual dos entrevistados segundo a frequência declarada de consumo de informação sobre C&T, por meios de divulgação

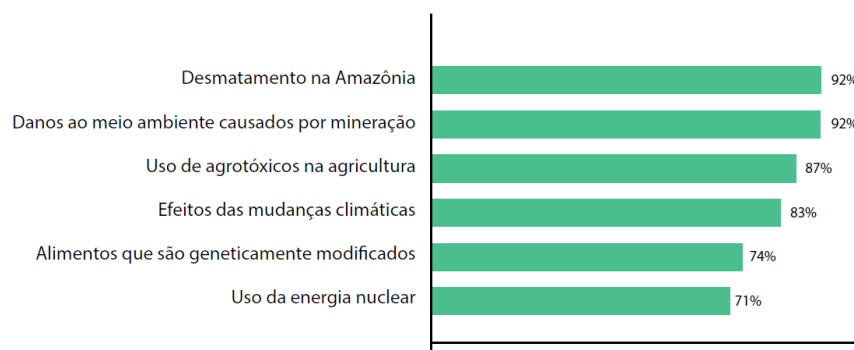


Fonte: CGEE 2019

Estes números contribuem ainda na percepção de quais meios de comunicação que a população brasileira mais consome. O conjunto de consumo “Frequentemente” e “Às vezes” é maior para os Programas de TV. Entretanto, quando se observa apenas o consumo

“Frequentemente” as redes sociais são a principal maneira que os brasileiros se informam. O Brasil sempre foi um dos países que mais consome informação por redes sociais, prefere notícias apenas dos sites que confia, e de fontes de notícias alinhadas politicamente (REUTER, 2020). Além disso, é o país que mais consome notícias por WhatsApp (SABOIA, 2016). Os dados da pesquisa da CGEE indicam ainda que a maioria da população reconhece a importância dos problemas ambientais, e sociais (Figura 2).

Figura 2 - Percentual dos entrevistados que se declaram “preocupados” ou “muito preocupados” sobre alguns temas.



Fonte: CGEE 2019

O efeito desse cenário é que, em geral, pouco se lê sobre C&T e quando se consomem informações é por meio da televisão e internet (SANTOS; MOURA, 2017). Possivelmente, a maneira mais explícita para compreender o presente fenômeno apontado é considerar, por exemplo, o negacionismo em suas diversas correntes: mudanças climáticas, vacinação, profecias de fim do mundo. Temos ainda discussões curriculares sobre inclusão do criacionismo nas disciplinas científicas (ZIMMERMAN; CROKER, 2014).

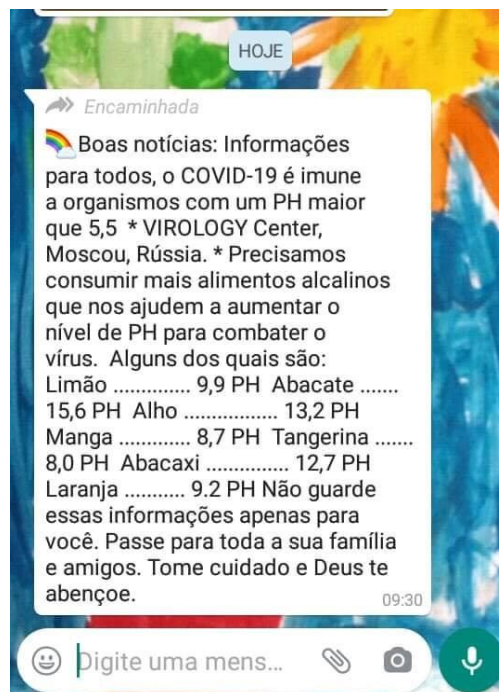
Ora, além das pesquisas apontadas, existem impactos bastante factuais dos efeitos que o analfabetismo científico é capaz de produzir. O ano de 2020 surpreendeu o mundo com a necessidade de vigilância, monitoramento e isolamento social em casos de crises virais. Embora a virologia ostente publicações que remontam o final do século XIX, e as medidas de isolamento e cuidados com infecções virais sejam conhecidas, pelo menos desde o início do século XX (CDC, 2019; SUSSMAN, 1998) 100 anos não foi o suficiente para a popularização dos conceitos científicos de cuidados sanitários.

Para evitar devaneios e navegar por áreas onde este trabalho não pode investigar, podemos observar especificamente os efeitos da ausência dos conceitos químicos neste cenário.

Na Figura 3 se tem uma informação que, no ano de 2020, viralizou no Brasil inteiro pela rede social *WhatsApp*. Nela estão contidas informações de como, supostamente, poder-se-ia combater o coronavírus. Existem detalhes que não podem ser desconsiderados: 1) em primeiro momento, existe a apelação emocional “Boas Notícias” procurando seduzir o leitor; 2) posteriormente, é inserida uma informação seguida de fonte. Ou seja, existe aqui uma tentativa de ‘formalizar’ a mentira, torná-la mais crível. Apesar disso, a fonte é insuficiente e não pode ser verificada; 3) O discurso distorce completamente o conceito de pH. Além de não se apropriar de símbolos científicos adequados, não descreve se esses alimentos foram analisados em solução. Também engana o leitor acerca das propriedades organolépticas. Mesmo sem investigarmos a concentração de íons hidrônio e discutir o texto de maneira analítica, pode-se questionar como que alimentos com efeitos e gostos tão diferentes como o limão e o abacate podem ser colocados no mesmo grupo.

Essa tentativa de refinar informações incorretas e adaptar da ciência apenas o que é adequado ao seu discurso político já foi investigado por outros autores e também é material útil para este trabalho: **pseudociências**.

Figura 3 - Mensagem com informações falsas propagadas na rede social *WhatsApp*



Fonte: Adaptado de Revista Piauí 2020

2.2 PSEUDOCIÊNCIAS

Os efeitos da pseudociência quântica podem ser encontrados até em cursos de graduação. No quinto semestre do curso de Enfermagem oferecido pela Universidade Federal do Rio Grande, por exemplo, pode ser encontrada a disciplina “PERSPECTIVA QUÂNTICA PARA O CUIDADO DE ENFERMAGEM/SAÚDE”. Em sua ementa:

Contribuições da Teoria Quântica para o cuidado de Enfermagem/Saúde (energia, vibração, espiritualidade, fé, crenças, pensamentos, sentimentos e emoções). Política Nacional de Práticas Integrativas e Complementares no Sistema Único de Saúde e suas influências no cuidado de Enfermagem/Saúde. Noções básicas sobre Ayurveda, Fitoterapia e Fitoenergética, Florais de Bach e Saint Germain, Mandalas, Medicina Tradicional Chinesa, Meditação e Yoga (FURG, 2021).

O trabalho de Moura e Santos (2017) já citado anteriormente, utilizou-se de ciência de dados para detectar o misticismo quântico em livros publicados no Brasil e traz bastante avanço nessa discussão. Os autores mostram que as pseudociências encontram um terreno especialmente fértil no Brasil considerando as sérias deficiências de escolaridade, indicadas pelos resultados no Programa Internacional de Avaliação de Alunos (PISA), Sistema de Avaliação da Educação Básica (SAEB), Índice de Desenvolvimento da Educação Básica (IDEB), Indicador de Alfabetismo Funcional (INAF) (BRASIL, 2015).

2.3 O ENSINO DE QUÍMICA QUÂNTICA

Quando nos debruçamos sobre o formalismo da química quântica que começou a ser desenvolvido no início do século XX, percebemos que as relações entre afinidade, valência, ligação química e energia só ficaram um pouco mais explícitas quando a mecânica quântica estabeleceu relações quantitativas entre energia de formação de uma substância e suas características estruturais (ARAÚJO, 2007). Apesar das possibilidades de inserção curricular de diversos conceitos, em geral os livros didáticos do ensino médio de química abordam a Física Quântica apenas nos conteúdos de atomismo. Mais especificamente, quando se propõem a representar os orbitais atômicos e moleculares (PESSOA JR, 2007).

Ramos (2015) investigou o modelo atômico quântico em coleções de química aprovadas no PNLD 2015 e considerou que os autores descrevem o surgimento da Física Quântica no início do século XX, a relação entre os trabalhos de Planck (1858-1947), Einstein

(1879-1955) e Louis de Broglie (1892-1987) e incluem o Átomo de Bohr na discussão quântica. Apesar disso, concluíram que

As coleções analisadas cumprem os critérios de excelência do PNLD, porém, como não é avaliada a definição da orientação didático-pedagógica adotada, os autores podem escolher não ensinar o modelo atômico quântico. Desse modo, as obras não discutem um tema importante e controverso, que possibilita estimular e trabalhar o desenvolvimento intelectual dos estudantes (RAMOS, 2015, p 07).

Os resultados indicaram que, principalmente nos conceitos essenciais de quantum de energia, dualidade onda-partícula e números quânticos, não há discussão suficientemente explícita, com boa parte do texto de maneira informativa (RAMOS, 2015). Esse recorte é fundamental, visto que, se boa parte do texto é informativa, isso significa que ela não considera os desenvolvimentos históricos que são a base argumentativa para a compreensão da verdadeira revolução que foi a Física Quântica. O desenvolvimento na área é urgente, visto que o livro didático é uma das ferramentas mais utilizadas pelos professores e pelos alunos (ASSIS; BELLO, 2012).

Diante dos obstáculos expostos, há necessidade de mudança da proposta atual no ensino de química quântica. Oliveira (2016) propôs um programa novíssimo de atomística para o ensino médio com a inserção de conceitos de Química Quântica. A autora defende que, na prática docente, os tópicos que constituem o seu programa exigem “interpretações coerentes e contextualizadas com a realidade de cada grupo escolar, com exemplos e uma didática voltada para o cotidiano de cada grupo” (p. 14). Entretanto, para se desenvolver o programa proposto pela autora é necessário não apenas estratégias metodológicas, mas também que haja docentes com formação para tal. o caso da componente curricular química no ensino médio, a situação é ainda mais grave: apenas 44% dos professores que lecionam essa matéria têm formação na área de química (BRASIL, 2015).

Em suma, percebe-se um cenário nacional com carência no ensino de quântica nas escolas públicas, fenômeno que contribui na manutenção dos baixos indicadores educacionais e proliferação de pseudociências e mensagens falsa em uma população.

2.4 O USO DE CELULAR PELOS ESTUDANTES NAS ESCOLAS

As escolas encontram obstáculos legais na incorporação dos dispositivos móveis no ensino. Há no estado de Santa Catarina uma legislação estadual, a LEI Nº 14.363 que em seu

texto tem apenas um artigo com a seguinte informação: "Fica proibido o uso de telefone celular nas salas de aula das escolas públicas e privadas no Estado de Santa Catarina." (ALESC, 2008). Embora tenha tramitado na câmara entre os anos de 2016 e 2019 o Projeto de Lei Nº 0198.8/2016 nº 7017 (ALESC, 2016) que modernizava a regulamentação do celular ela foi retirada pelo autor e não entrou em vigor. Apesar da proibição taxativa sem qualquer argumentação, Quarezemin e Silva (2012) constataram que a lei não somente não era cumprida, mas identificaram "casos de alunos que deixavam a sala para atender chamadas, que atendiam em sala de aula aos sussurros ou mesmo se comunicavam durante a realização de provas por meio de seus celulares" (NAGUMO; TELES, 2016, p 359).

No mesmo trabalho exposto acima, Nagumo e Teles (2016) em sua publicação intitulada "O uso do celular por estudantes na escola: motivos e desdobramentos" investigou as matérias que o título propõe, se dedicando exclusivamente ao detalhamento das formas de emprego dos aparelhos móveis na escola pelos alunos. No texto, existe referência da pesquisa da Secretaria Nacional de Juventude sobre perfil e opinião dos jovens brasileiros, estatisticamente representativa para o universo da população entre 15 e 29 anos. A pesquisa enumera os principais usos da internet dessa faixa etária: acessar sites de relacionamento (56%); buscar notícias sobre a atualidade (43%); pesquisar em mecanismos de busca (31%); baixar músicas e vídeos (23%); e enviar/receber e-mails e mensagens (23%). Em relação ao celular, os principais usos são: fazer ou receber ligações telefônicas (89%); comunicar-se via mensagens de texto (54%); ouvir música (31%); fotografar ou filmar (26%); e buscar informações pela internet (20%) (Brasil. SNJ, 2013). Entre as conclusões que os autores puderam obter, a principal é de que a maioria dos estudantes utiliza celulares no ambiente escolar. Por fim, que:

(...) a escola ainda não foi capaz de pensar seus afazeres didáticos com as tecnologias disponíveis. Os resultados desta pesquisa indicam que, embora os jovens façam uso cotidiano de smartphones na escola para várias atividades, a maioria dos professores ainda não foi capaz de desenvolver práticas pedagógicas com o celular nas salas de aula, talvez pela falta de uma política clara de formação de professores nesta área ou pela inexistência de infraestrutura de rede adequada para as necessidades de toda a escola. É necessário ensinar aos estudantes que a possibilidade de acesso às informações pelo celular onde e quando quiserem não significa que eles devam fazer isso a todo o momento. Se o uso desses aparelhos hoje faz parte da construção da identidade dos jovens, a escola pode partir desse interesse para se aproximar dos estudantes. Um trabalho com os alunos para o uso consciente da tecnologia pode criar bases para uma sociedade mais colaborativa, inteligente e criativa (NAGUMO; TELES, 2016, p 367).

Ou seja, já foi demonstrado o amplo uso dos celulares por estudantes e professores. Nesta esteira, a presente pesquisa pode contribuir na socialização das possibilidades que os dispositivos móveis possuem no ensino formal da química, ao contrário dos usos que

geralmente se observa. Dessa maneira, pode-se aprimorar a independência sobre esta tecnologia que já no alcance do toque de muitos brasileiros.

2.5 APLICATIVOS COMO FERRAMENTAS METODOLÓGICAS

Fazem parte das TDIC um extenso leque de estratégias como formulários, simulações, slides, AVA's, vídeos e *podcasts* (LOPEZ; PETRONILHO, 2017). Entretanto, uma discussão que acompanha o ensino mediado pelas TDIC é o como fazê-lo, visto que existem carências de infraestrutura física e pessoal na rede de ensino nacional.

É neste cenário que se destacam os aplicativos. Todos os recursos citados podem, sem muito esforço, serem adaptados para os dispositivos móveis como *smartphones* e *tablets*. Grande parte do que já foi trazido neste texto discute acerca do papel da internet na sociedade moderna, e também do impacto da internet no ensino. A realidade tecnológica e social dos estudantes e professores culminam em uma nova modalidade de ensino: o ensino móvel, também chamado de *mobile learning* ou *m-learning*. Nesse sentido, é sempre relevante contextualizar que os trabalhos nessa área não investigam “metodologias do futuro”. Investigam as metodologias do agora, como aponta Moura (2010); indicando que é natural a incorporação dos celulares pelos alunos nas práticas de estudos. Empregam essas tecnologias dentro e fora de aula, de maneira individual e coletiva.

A modalidade tem como maior característica a mobilidade, mas também a flexibilidade espacial e temporal proporcionada pelas conexões sem fio. Autores como Vieira e Coutinho. (2013) preferem chamar a flexibilidade de “independência”. E existem contribuições como a de Saccol et al. (2011) que chama atenção para outras mobilidades: as conceituais e socio interacionais. Outro ponto relevante é a facilidade intuitiva das interfaces que envolve procedimentos menos complexos que os *softwares* adaptados para computadores.

Os recortes expostos têm a finalidade de argumentar que enquanto a literatura aponta para as possibilidades de independência do aprendizado (em todas as formas citadas anteriormente) na prática os aprendizes não empregam necessariamente para o estudo no ambiente formal escolar. Na posição de professor de química, é bastante plausível que quando um recurso (experimento, vídeo, simulação, etc.) é empregado exige do profissional um cuidado metodológico para “guiar o olhar do aluno”. Deste modo, é evidente que enquanto se percebe a necessidade de investigar o ensino de química quântica, também existem possibilidades promissoras das TDIC no ensino de ciências. As potencialidades e limitações do ensino de

química quântica por meio de TDIC podem ser investigadas com o intuito de socialização para outros professores.

3 METODOLOGIA

3.1 MÉTODOS DE ANÁLISE EMPREGADOS

A metodologia compreende a investigação de aplicativos em inglês ou português gratuitos disponíveis para o Sistema Operacional *Android* disponíveis na loja denominada *Play Store*. As seguintes palavras-chave foram empregadas: química quântica; física quântica; ensino de quântica; *quantum chemistry*, *quantum physics* e *quantum teaching*. A tomada de dados se deu pelo aplicativo disponível para *WindowsBlueStacks*, que simula um dispositivo *Android* no computador. Para evitar resultados desviados pelos algoritmos de busca foi criada uma conta na *Google* inédita para realizar a pesquisa.

A escolha unicamente por *Android* e gratuidade vai ao encontro da predominância desse Sistema Operacional nos dispositivos da população brasileira, visto que 9 em cada 10 brasileiros utilizam o *Android* e a média do valor pago por estes equipamentos é R\$ 1.500,00 mais baixo que a média do sistema operacional *iOS* (MOURA; CAMARGO, 2020). A gratuidade representa ainda uma parcela dos aplicativos comprometidos com a acessibilidade, o que contribui para a produção científica e possíveis estratégias de ensino.

Considerando os aspectos qualitativos desta pesquisa é imprescindível descrever ainda o instrumento de análise. Nichele e Schlemmer (2013) elaboraram um instrumento de avaliação genérico para os aplicativos de ensino de química desenvolvido a partir de critérios anteriormente estabelecidos na avaliação de Ambientes Virtuais de Aprendizagem (AVA's).

No que se refere aos instrumentos focados na avaliação de uma área específica da química, Oliveira, Souto e Carvalho (2016) adaptaram o instrumento citado anteriormente, desta vez visando a seleção de aplicativos para ensino de química orgânica no ensino médio e/ou graduação. É deste último trabalho que deriva a tabela desenvolvido pelo autor desta pesquisa. Foram excluídas as investigações de características que fogem do escopo do presente trabalho, como a caracterização do ritmo de aprendizagem e qualidade das animações, por exemplo. Os critérios de avaliação estão descritos nas tabelas abaixo.

Tabela 1 - Aspectos Gerais dos Aplicativos

Aspectos Gerais		
1)Classificação do Usuário (Nota)	<input type="checkbox"/> Até 4	<input type="checkbox"/> Acima de 4
2)Idioma	<input type="checkbox"/> Port.	<input type="checkbox"/> Inglês
3)Conteúdos abordados		
4)Título		

Fonte: Adaptado de Oliveira, Souto e Carvalho. (2016)

Tabela 2 - Aspectos Técnicos

Aspectos Técnicos			
1) Restringe o Acesso aos conteúdos	<input type="checkbox"/> Sim	<input type="checkbox"/> Não	<input type="checkbox"/> Parcialmente
2) Funcionalidades restritas a internet	<input type="checkbox"/> Sim	<input type="checkbox"/> Não	<input type="checkbox"/> Parcialmente

Fonte: Adaptado de Oliveira, Souto e Carvalho (2016)

Tabela 3 - Considerações às potencialidades e limites educacionais dos aplicativos

Aspectos Educacionais					
1) Atende a quais níveis de ensino	<input type="checkbox"/> E. M.	<input type="checkbox"/> E. S.	<input type="checkbox"/> N. I		
2) Confiabilidade conceitual	<input type="checkbox"/> Excelente	<input type="checkbox"/> Regular	<input type="checkbox"/> Ruim		
3) Presença de atividades avaliativas	<input type="checkbox"/> Sim	<input type="checkbox"/> Não			
4) Característica de abordagem do Aplicativo: relação conteúdo x usuário	Simulação	Calculadora	Wiki	Games	Outros

Fonte: Adaptado de Oliveira, Souto e Carvalho (2016)

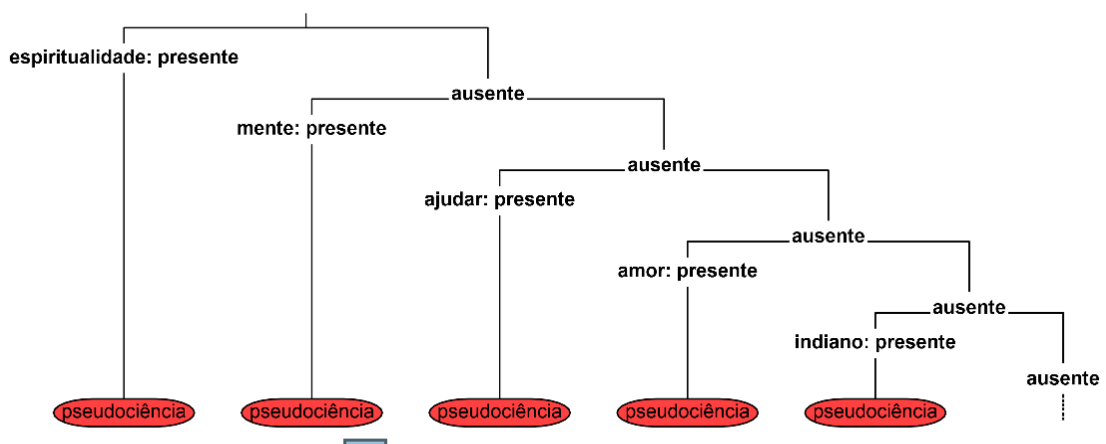
Os aspectos gerais e técnicos agrupam dados relacionados ao tipo de planejamento que pode ser empregado – idioma, uso em sala ou extraclasse, quais funcionalidades o aprendiz tem acesso no caso das restrições de conteúdo ou restrições pela rede, visto que nem todo aluno possui internet em casa.

Em relação aos aspectos educacionais: os níveis de ensino foram considerados de acordo com o que o aplicativo informa. A confiabilidade conceitual considerou “Excelente” o aplicativo no qual não se identificou erro no conteúdo empregado. Seja nas representações matemáticas, símbolos ou descrição textual. “Regular” para um erro; “Ruim” para dois erros ou mais. Os erros encontrados foram expostos e discutidos à luz do referencial teórico.

As características da abordagem coletam dados de “Simulação” para aqueles aplicativos em que há representação gráfica dos modelos ou fenômenos apresentados; “Calculadora” quando se permite apenas manipular valores de uma função acerca de determinado conceito; “Games” para aqueles aplicativos com caráter lúdico em que os modelos são o contexto e “Outros”.

Os aplicativos ainda poderão ser excluídos considerando o que foi caracterizado previamente como pseudociência e “misticismo quântico”. Para esta etapa, será utilizado o esquema derivado do trabalho de Moura e Santos (2017), de acordo com a Figura 4, como segue:

Figura 4 - Parâmetros de exclusão dos aplicativos encontrados



Fonte: Moura e Santos (2017)

Qualquer aplicativo que contenha estas palavras em seu título ou explicação de conceitos será descartado e não avaliado

A confiabilidade conceitual do conteúdo presente nos aplicativos constitui também fundamental etapa de caracterização. Como referência neste assunto, foram consultados sempre que necessários os capítulos 7 - “The HydrogenAtom”; e capítulo 11 - “Qualitative Theory of Chemical Bonding” do livro “Quantum Chemistry” de Donald A. McQuarrie (2008).

O capítulo 7 compreende a resolução da equação de Schroedinger para o átomo de hidrogênio, metodologia da qual derivam naturalmente os familiares orbitais atômicos e suas propriedades (MCQUARRIE, 2008). A escolha por este conteúdo se dá pelo conjunto privilegiado de conhecimentos que tomam forma(analítica) e sentido quando resolvemos a equação de Schrodinger exata para este sistema. Os Orbitais Atômicos discutidos no capítulo são indissociáveis dos conhecimentos da dualidade da matéria (onda, partícula); Números Quânticos; Distribuição Eletrônica e Densidade de Probabilidade que podem ser discutidos e investigados em diferentes níveis educacionais. Tanto de maneira qualitativa em aulas do ensino médio quanto de modo quantitativo, na educação superior.

O capítulo 11 compreende o modelo em que se somam linearmente os orbitais atômicos gerando orbitais moleculares. Essa metodologia, por sua vez, é indissociável dos conceitos de Ligação Química, Valência, Geometria Molecular e Configuração Eletrônica de Moléculas. Assim como o caso anterior, também pode ser adaptado para diferentes níveis educacionais.

3.2 ASPECTOS CURRICULARES DA METODOLOGIA

Há de se estabelecer ainda um recorte necessário no que diz respeito aos conteúdos abordados pelos aplicativos. Tendo em vista a ampla diversidade de conceitos que podem ser discutidos pela física e química quântica, considerou-se o que vem sendo historicamente proposto em documentos oficiais de orientação curricular no Brasil. Toma-se inicialmente como referência os Parâmetros Curriculares Nacionais (PCN+) Ensino Médio (BRASIL, 2002) e Orientações Curriculares Para o Ensino Médio (OCN) (BRASIL, 2006).

Com isso determinado, os aplicativos foram selecionados única e exclusivamente se abordavam pelo menos um dos seguintes conceitos sugeridos pelo OCN ou PCN+.

O documento que define a Base Nacional Comum Curricular para o ensino médio (BNCC) não contribui para a metodologia. Neste documento não foram identificadas competências e habilidades exclusivas dos modelos quânticos da química. O que acena para uma problemática futura ao ensino de química na educação básica brasileira.

Do texto dos OCN, buscou-se nos aplicativos aqueles que trabalham os conceitos presentes nos Modelos de constituição:

(...)Reconhecimento do modelo quântico do átomo como interpretação do comportamento de partículas atômicas a partir das leis da Física moderna fundamentadas em princípios diferentes dos previstos pela Física clássica;
Interpretação da periodicidade de propriedades dos átomos e de substâncias em termos das configurações eletrônicas dos átomos dos elementos químicos;
Compreensão das ligações químicas como resultantes das interações eletrostáticas que associam átomos e moléculas para dar às moléculas resultantes maior estabilidade;
Compreensão da energia envolvida na formação e na “quebra” de ligações químicas;
Identificação da natureza das radiações alfa, beta e gama.
(BRASIL, 2006, p 113).

Os PCN+ são marcados pela relação entre as competências químicas: Representação e comunicação, Investigação e compreensão e Contextualização sociocultural. Não de maneira subjetiva, o documento organiza as competências e os conteúdos da química em nove temas estruturadores. Destes, foram considerados somente os aplicativos compreendidos pelos conceitos do tema: “9. Modelos quânticos e propriedades químicas”. Os PCN+ neste tema defende o estudo da história da ciência e dos conteúdos quânticos desenvolvidos no início do século 20, bem como a importância das interpretações mais completas das ligações químicas e que os modelos mais recentes. As unidades temáticas propostas são as seguintes: Radiações e modelos quânticos de átomo, Modelagem quântica, ligações químicas e propriedades dos materiais, Constituição nuclear e propriedades físico-químicas.

O texto dos documentos supracitados se destaca pela articulação entre metodologias de contextualização (e seus aspectos sociais), interdisciplinaridade e desenvolvimento de habilidades relacionadas à comunicação científica no ensino de química. Deste ponto de partida, deriva-se um conjunto de conteúdos.

Em suma, defende-se que este conjunto de conhecimentos quânticos da química pode contribuir para a aprendizagem desta temática pelos estudantes, principalmente nas representações dos modelos quânticos.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A metodologia de pesquisa descrita selecionou em primeiro momento 68 aplicativos. Deste grupo, foram excluídos aqueles que extrapolavam os conteúdos considerados para análise definida na metodologia. Como resultado final 05 aplicativos foram encontrados (Tabela 04) o que é condizente com as publicações semelhantes.

Tabela 4 – Comparação quantitativa dos resultados obtidos em pesquisas sobre ensino de química e aplicativos

	Primeira seleção	Resultados refinados
Presente trabalho	68	05
Oliveira, Souto e Carvalho (2016)	77	09
Nichele e Schlemmer (2013)	34	8

Fonte: Elaborado pelo autor

Na pesquisa de Oliveira, Souto e Carvalho (2016) foram selecionados aplicativos focados no ensino de química orgânica, enquanto Nichele e Schlemmer (2013) selecionaram diversos conteúdos com potencial de uso no ambiente escolar. É necessário ressaltar, entretanto, que a nossa pesquisa possui uma metodologia mais detalhada no sentido de selecionar conteúdos específicos dentre de uma das áreas da química. Ou seja, investigações semelhantes com recortes mais gerais resultaram em um número parecido de *apps* encontrados. Esses dados indicam que possivelmente o número de aplicativos vem aumentando, o que melhora a relevância da pesquisa.

Na tabela 5 apresenta-se o resultado final dos aplicativos escolhidos e submetidos a análise de acordo com os objetivos da pesquisa.

Tabela 5 – Aplicativos com maior potencial selecionados para o ensino de química quântica

Aplicativos
Electron Orbitals de Brian Johnson
Hydrogen Atom Orbitals de Voladd
WebMO de WebMO, LLC
Orbitais Virtuais Química 3D de Enteriosoft
Mo-Cubed de Advanced Mobile Applications for Science Education

Fonte: Elaborado pelo autor

4.1 ANÁLISE DOS ASPECTOS GERAIS

Em relação à análise dos aspectos gerais dos aplicativos a Tabela 6 apresenta os resultados.

Tabela 6 – Análise dos aspectos gerais

Aplicativos	Aspectos gerais				Conteúdos abordados
	Classificação do Usuário (Nota)		Idioma		
	Até 4	Acima de 4	Port.	Ing..	
Electron Orbitals de Brian Johnson		4,7 com 319 Avaliações		X	Números Quânticos; Orbitais Atômicos
Hydrogen Atom Orbitals de Voladd		4,5 com 204 Avaliações		X	Números Quânticos; Orbitais Atômicos

Aplicativos	Aspectos gerais				Conteúdos abordados
	Classificação do Usuário (Nota)		Idioma		
	Até 4	Acima de 4	Port.	Ing..	
WebMO de WebMO, LLC		4,3 com 306 Avaliações		X	Orbitais Moleculares; Simetria; Geometria Molecular
Orbitais Virtuais Química 3D de Enteriosoft		4,4 com 5 mil Avaliações		X	Orbitais Atômicos
Mo-Cubed de Advanced Mobile Applications for Science Education		4,2 com 194 Avaliações		X	Orbitais Moleculares; Configuração eletrônica; Geometria Molecular.

Fonte: Elaborado pelo autor

4.1.1 Sobre o idioma dos aplicativos

Estes cinco compartilham diversas propriedades em comum: todos são em inglês, o que se difere dos selecionados pelos autores citados na Tabela 4 onde todos os aplicativos selecionados estavam em Língua Portuguesa. Esse fato merece destaque, pois isto pode limitar a sua utilização em determinados contextos do ensino médio brasileiro. De outra parte, o fato de os aplicativos estarem em inglês também pode ser tomado como possibilidade de favorecer atividades educacionais que favoreçam a interação entre diferentes componentes curriculares como Química e Inglês. Esse resultado também sinaliza a necessidade de pesquisadores em ensino de química tomarem como objeto de trabalho a construção e disseminação de aplicativos que explorem conteúdos de Química Quântica e que esses

também se tornem objetos de investigação da pesquisa em ensino de química, de modo a realçar os limites e as potencialidades de sua utilização na educação básica e na educação superior. Uma vez que se tenha aplicativos de Química Quântica em Língua Portuguesa isso também pode colaborar para o incentivo ao ensino de conteúdos dessa área da Química na educação básica. É certo que somente o fato de estarem disponíveis em Língua Portuguesa é características insuficiente para que esses conteúdos sejam explorados com mais afinco desde a educação básica. Outros aspectos que discutirmos mais adiante na análise são imperativos. A própria formação de professores de química desempenha um papel primordial nesse processo. Contudo, entende-se que há uma necessidade de que no nosso contexto educacional se tenham aplicativos associados ao ensino de Química Quântica em Língua Portuguesa.

Para o contexto da educação superior no Brasil se avalia que o fato de os aplicativos localizados estarem em língua inglesa não se constituem obrigatoriamente em um problema. Não raramente referências utilizadas em componentes curriculares de Química Quântica em cursos de graduação e pós-graduação no Brasil se apoiam em referências de língua inglesa. Como exemplo, se podem tomar os planos de ensino de componentes curriculares de Química Quântica de importantes instituições de educação superior no Brasil em que aparecem referências de língua inglesa para os estudantes estudarem, como Universidade de São Paulo¹, Universidade Federal de Santa Catarina² e Universidade Estadual de Campinas³. Cumpre registrar desde já que análise dos aspectos educacionais mais adiante não foi possível caracterizar se os aplicativos foram construídos prevendo a sua utilização no ensino médio e/ou na educação superior. Isso justifica também a interpretação apresentada relativa à caracterização dos idiomas dos aplicativos. Ou seja, se os aplicativos tivessem indicação de que eram propostos para a educação superior, seriam desnecessárias as discussões relativas à implicação do idioma para a utilização do aplicativo na educação básica.

4.1.2 Sobre as notas dos aplicativos

É parte da análise também as notas aferidas pelo usuário. A metodologia selecionou apenas os *apps* que apresentam 4 ou mais disponível para download.

¹ Disciplina: QFL1543 - Química Quântica I. Disponível em: <https://uspdigital.usp.br/jupiterweb/obterDisciplina?sgldis=QFL1543&codcur=46300&codhab=>

² QMC 5423 Fundamentos de Química Quântica Disponível em: https://quimica.paginas.ufsc.br/files/2021/05/QMC5423_Fundamentos-de-Qu%C3%ADmica-Qu%C3%A2ntica-PROGRAMA.pdf.

³ QF530 Introdução à Química Quântica e à Espectroscopia Molecular. Disponível em: <https://iqm.unicamp.br/sites/default/files/QF530%20A%20-%20Leandro%20Mart%C3%ADnez>.

Desta maneira, esta pesquisa pode agora relacionar a nota com outros aspectos técnicos, gerais ou educacionais.

Vale ressaltar que essa discussão é inédita e não foi realizada pelas referências consultadas acerca da avaliação de aplicativos com potencial no ensino de química.

Sobre esse assunto, um dos aplicativos se destaca pela nota resultante de milhares de avaliações - Orbitais Virtuais Química 3D, enquanto todos os outros possuem centenas. Como será descrito adiante, apenas um dos aplicativos foi contemplado na categoria de confiabilidade conceitual “Ruim” e é justamente aquele com maior número de avaliações e nota maior que 4. Pode-se inferir, portanto, que a nota do usuário unicamente não é categoria suficiente na seleção dos aplicativos e não se recomenda ao professor que tome como principal aspecto do *app*. De qualquer forma, a nota dada pelo usuário não é inútil. Revela aqueles materiais que melhor agradaram o público e também os que aparecem em destaque quando pesquisados pelos alunos e professores. Vale ressaltar que considerar a nota na loja de aplicativos contribui para a seleção de aplicativos com grande potencial de uso no ensino de Química Quântica, como este trabalho indica.

4.1.3 Sobre os conteúdos com maior incidência

Os conceitos de Química Quântica com maior incidência encontrados foram: Números Quânticos, Orbitais Atômicos e Orbitais Moleculares. Esse conjunto contribui no desenho dos contornos que definem as potencialidades que estão disponíveis hoje para aulas de química integradas com TDIC e dispositivos móveis *Android*.

Os Números Quânticos e Orbitais Atômicos certamente representam um espaço de destaque que exige preparo dos profissionais da educação. O modelo atômico de Bohr representa, em geral, o primeiro contato que o aluno do ensino médio costuma ter com a Física Quântica, e nos cursos de graduação superior também é o conteúdo em que, habitualmente, se desenvolve o formalismo metodológico da Química Quântica pela primeira vez, de maneira analítica. O contato entre o modelo e a quântica se dá, entretanto, pelos postulados de Bohr aplicados no modelo atômico clássico de Rutherford.

Os Números quânticos e Orbitais Atômicos, por sua vez, inauguram para o aprendiz todo um conjunto de saberes inéditos na área modelos explicativos sejam pelas representações

matemáticas ou representações visuais. Os estudantes da Educação Superior possuem, em tese, o nível de conhecimento adequado para melhor compreender as representações matemáticas, o que contribui na interpretação desses primeiros conceitos da Química Quântica. Para o estudante do ensino médio, porém, não há como demonstrar os números inteiros que surgem naturalmente como solução da equação de Schrodinger para o átomo de hidrogênio.

Como efeito, temos um cenário de representações pictóricas nos livros didáticos marcados pelos “balões” apresentados como nuvens eletrônicas, desacompanhadas da profundidade conceitual a respeito da natureza dessas nuvens – dualidade onda partícula, por exemplo (PESSOA J., 2007).

Ora, foi justamente nessa esfera de carência nos materiais de Química Quântica sobre Números Quânticos e Orbitais atômicos que os conteúdos dos aplicativos tiveram maior ocorrência. Dessa reflexão pode-se inferir o potencial que os aplicativos possuem hoje para complementar os limites das ferramentas tradicionais como os livros didáticos.

O modelo dos Orbitais Atômicos e conceitos dos Números Quânticos historicamente estão presentes nos currículos do ensino médio, como sugerem os PCN+, por exemplo (BRASIL, 2002). Os Orbitais Moleculares, por sua vez, têm aplicações mais limitadas no ensino médio, em geral apenas de caráter qualitativo. Neste nível de complexidade dos conceitos, os aplicativos podem contribuir no melhor entendimento dos conceitos de reatividade e geometria molecular, por exemplo. Uma estratégia viável é demonstrar com a ajuda dos *apps* como que os Orbitais Moleculares estão relacionados com a estrutura de Lewis da molécula. O professor pode planejar uma aula em que evidencia que o *Highest Occupied Molecular Orbital* (HOMO) de uma molécula com elétrons não ligantes se parece com o orbital atômico “puro” daquela espécie e relacionar com a estrutura de Lewis. Demonstrar de maneira qualitativa a reatividade e estabilidade da ligação covalente também é bastante viável para moléculas pequenas e substâncias simples como H_2 e O_2 , com ordem de ligação positiva.

As transições eletrônicas também podem ser trabalhadas de maneira adequada no ensino médio. Os indicadores ácidos e base orgânicos são exemplos de moléculas que geralmente são estudadas. Com o planejamento adequado, pode-se acompanhar como a estrutura química da molécula se altera no equilíbrio químico em função do pH e concomitantemente se utilizar dos aplicativos para destacar a mudança na estrutura dos orbitais e variação de energia entre o HOMO e *Lowest Unoccupied Molecular Orbital* (LUMO).

Neste assunto, é possivelmente na Educação Superior onde reside o terreno mais fértil para o uso dos aplicativos. Na caracterização identificou-se as possibilidades de cálculo dos orbitais moleculares inclusive de moléculas grandes, sendo possível observar a variação de energia nas transições eletrônicas. Diálogos com a química quântica computacional surgem de imediato, conceitos como a configuração eletrônica singlete, tripleto etc. são fundamentais na realização de diversos cálculos e o aplicativo solicita o *input* do usuário.

4.2 ANÁLISE DOS ASPECTOS TÉCNICOS

Os dados produzidos acerca dos aspectos técnicos dos aplicativos estão sintetizados na tabela 7.

Tabela 7 – Análise dos aspectos técnicos

Aplicativos	Aspectos Técnicos					
	Restringe acesso aos conteúdos			Funcionalidades restritas a internet		
	Sim	Não	Parcialmente	Sim	Não	Parcialmente
Electron Orbitals de Brian Johnson		X			X	
Hydrogen Atom Orbitals de Voladd		X		X		
WebMO de WebMO, LLC	X				X	
Orbitais Virtuais Química 3D de Enteriosoft		X			X	
Mo-Cubed de Advanced Mobile Applications for Science Education	X			X		

Fonte: Elaborado pelo autor

Esta etapa da caracterização identifica os limites técnicos do uso dos aplicativos. As limitações em geral se dão de duas formas: acesso permitido apenas mediante conexão com internet; restrições dos recursos ou acesso ao conteúdo do *app* em função da versão gratuita, neste caso há uma versão *premium* e paga do mesmo aplicativo sem restrições que não foram investigados nessa pesquisa.

4.2.1 Sobre as funcionalidades restritas à internet

As funcionalidades restritas à internet constitui uma das limitações mais relevantes. É válido ressaltar que segundo a ANATEL a diferença entre os contratos de internet móvel e *modens* de banda de larga fixa é de centenas de milhões a mais para os dispositivos móveis (ANATEL, 2020). Ocorre que cerca de 50% dos planos de internet móvel são do tipo pré-pago, ou seja, o acesso à internet é limitado e não há certeza sobre a frequência de uso diário. Os aplicativos que são desenvolvidos nessa proposta geralmente são programados como uma versão *mobile* de um site, ou ainda com o objetivo de não ocupar muito espaço no aparelho. Ou seja, este aspecto pode determinar se o aprendiz consegue utilizar seu dispositivo em casa. E ainda, se consegue utilizar na instituição de ensino, sobretudo nas escolas de educação básica, visto que nem todas permitem o acesso à internet.

Dois dos aplicativos selecionados apresentam restrições de acesso à internet: *Hydrogen Atom Orbitals* e *Mo-Cubed*. Para o caso do primeiro, que é um simulador, não se restringe a manipulação, visualização ou funções do aplicativo. Entretanto, a seção de teoria é disponível apenas com conexão. Para o segundo aplicativo existe limitação generalizada no uso *offline*: é possível apenas desenhar as moléculas orgânicas, tornando o *app* inviável para o ensino de Química Quântica sem conexão. Com isso posto, é responsabilidade do professor/a reconhecer as limitações técnicas e conhecer os aplicativos e propor atividades dentro dos contornos impostos pelas limitações técnicas. É relevante adicionar que estes destacados aqui receberam a categoria de confiabilidade conceitual “Excelente”. Ou seja, entre os aplicativos com maior potencial de uso no ensino de química consta um que é inviável *offline*.

4.2.2 Sobre as restrições de acesso ao conteúdo

Acerca das restrições impostas nas versões gratuitas foram identificadas duas abordagens: o aplicativo *WebMO* limita o tamanho da molécula em até 9 átomos para os cálculos de orbitais moleculares e correção de geometria molecular; *Mo-Cubed*, por sua vez, permite que qualquer molécula (guardadas as proporções do poder computacional dos dispositivos móveis) seja otimizada e calculada, mas limita o número dessas operações em 3 diárias. As limitações técnicas de acesso ao aplicativo também carecem de mais destaque, visto que se um professor/a planeja utilizar em sala, mas o aluno estudou na plataforma anteriormente, terá sua experiência inviabilizada.

Em verdade, se organiza aqui um ponto bastante curioso da discussão das TDIC na educação: por mais que o potencial e possibilidades de seu uso em aula sejam muito pujantes e por mais confiáveis que sejam os conteúdos presentes no *app*, é imperativo que seu uso esteja acompanhado da acessibilidade técnica. Anteriormente nesta pesquisa se argumentou que os aplicativos têm o potencial de explorar justamente os limites dos livros didáticos nos conceitos de Química Quântica. Ora, um livro não limita o número de acesso diários nem mesmo a conexão com a internet. Uma atividade planejada com o livro didático, por exemplo, não será inviabilizada se o aprendiz utilizou o material para estudar previamente. É categórico expor e socializar essas limitações técnicas encontradas, de modo a evitar retrocessos nas tecnologias e metodologias empregadas pelos profissionais da educação.

Para todos os efeitos, são muito diversas as possibilidades de uso destes *apps*. Os contornos estabelecidos pelos limites técnicos das operações diárias podem ser reduzidos se planejadas atividades em grupo. Dessa forma, além de usufruírem das possíveis vantagens do trabalho em pequenos grupos, estudantes podem se agrupar para produzir os cálculos desejados, multiplicando o número de operações. Entretanto, dessa maneira se reduzem as funções do uso individual simulador. É justamente na facilidade de “experimentação” que se destacam os simuladores de química: investigar os efeitos da substituição de átomos e as propriedades químicas dos compostos, por exemplo. Isto é, o que ocorre se trocar o hidrogênio por um halogênio? Em uma aula, estando o professor/a no controle total do simulador, pode-se reduzir as limitações de número de cálculos e tamanho da molécula – reside aqui o caráter paradoxal da discussão: resta para estes aplicativos o uso tradicional e expositivo, ou seja, a aula é travestida de tecnologia novíssima para entregar uma educação tradicional.

4.3 ANÁLISE DOS ASPECTOS EDUCACIONAIS

Os resultados produzidos no que se refere aos aspectos educacionais estão sintetizados na Tabela 8. Os dados aqui produzidos exploram a didática presente nos aplicativos. Em verdade, esta etapa representa a última caracterização e tomando seus resultados em harmonia com as etapas anteriores pode-se identificar uma lista seleta de aplicativos com alto potencial para uso no ensino de Química Quântica. Todavia, as informações presentes nessa seção não podem, unicamente, apontar para os materiais mais promissores. Isto é, a caracterização de um aplicativo com confiabilidade conceitual “Excelente”, por exemplo, deve ser acompanhada das características gerais e técnicas que o mesmo app possui. Não se recomenda ao professor/a ou aluno que tome como critério para suas escolhas apenas essas informações, visto que o aplicativo pode ter seu uso inviabilizado, dependendo do contexto, como descrito anteriormente.

Tabela 8 – Síntese da caracterização dos Aspectos Educacionais

Aspectos Educacionais				
	Atende a quais níveis de ensino	Característica de abordagem do Aplicativo: relação conteúdo x usuário	Presença de atividades avaliativas	Confiabilidade conceitual
Electron Orbitals de Brian Johnson	N.I.	Simulador	Não	Regular
Hydrogen Atom Orbitals de Voladd	N.I.	Simulador	Não	Excelente

Aspectos Educacionais				
	Atende a quais níveis de ensino	Característica de abordagem do Aplicativo: relação conteúdo x usuário	Presença de atividades avaliativas	Confiabilidade conceitual
Orbitais Virtuais Química 3D de Enteriosoft	N.I.	Simulador	Não	Ruim
Mo-Cubed de Advanced Mobile Applications for Science Education	N.I.	Simulador	Não	Excelente
WebMO de WebMO, LLC	N.I.	Simulador	Não	Excelente

Fonte: Elaborado pelo autor

4.3.1 Sobre a caracterização da confiabilidade conceitual e erros encontrados

O aplicativo “*Electron Orbitals* de Brian Johnson” é uma simulação dos orbitais atômicos. É simples e intuitivo. Possui botões que permitem selecionar o conjunto de números quânticos (número quântico principal n , número quântico secundário l , e terceiro número quântico m_l) e função de onda correspondente. Há uma seção de ajuda que descreve como utilizar o aplicativo. Também contém uma breve explicação da teoria quântica do simulador. Como o simulador é um modelo, é cuidadoso o suficiente para discutir como os orbitais reais podem diferir dos mostrados no aplicativo. Identificou-se apenas um trecho em que se pode discutir sua confiabilidade conceitual.

Na descrição dos números quânticos consta que “*The third number, m , is the z -component of l and affects how the electron’s orbit is alligned.*”. O termo órbita deriva do modelo atômico de Bohr, e não é o mais adequado para descrever os **Orbitais** atômicos. Os orbitais gerados como resultado do tratamento matemático da equação de Schrodinger para o átomo de hidrogênio são fundamentalmente diferentes das órbitas do modelo atômico de Bohr:

Equação 01 – Função de Onda para o átomo de hidrogênio

$$\psi_{nlm_l}(r, \theta, \phi) = R_{nl}(r)Y_l^{m_l}(r, \theta, \phi) \quad (01)$$

Fonte: McQuarrie, (2008).

A Equação 01 demonstra a função de onda completa para o átomo de hidrogênio. As soluções da equação são chamadas orbitais atômicos. Quando aplicamos o operador hamiltoniano na função de onda obtemos a equação radial, dada pela Equação 02.

Equação 02 – Equação radial para o átomo de hidrogênio

$$-\frac{\hbar^2}{2m_e r^2} \frac{d}{dr} \left(r^2 \frac{dR}{dr} \right) + \left[\frac{\hbar^2 l(l+1)}{2m_e r^2} + V(r) - E \right] R(r) = 0 \quad (02)$$

Fonte: McQuarrie, (2008).

As soluções da equação 02, por sua vez, são chamadas função de onda radiais e retorna a energia.

Possivelmente, a abordagem mais adequada para evidenciar as diferenças entre os modelos é comparar suas funções radiais. O raio do átomo de Bohr é resultado das interpretações clássicas de energia cinética e potencial submetido aos conceitos novíssimos da Física Quântica do início do século XX, com destaque para as condições de quantização, assumindo que o momento angular do elétron é quantizado (MCQUARRIE, 2008). Como efeito, podemos obter as órbitas de Bohr pela Equação 03:

Equação 03 – Raio de Bohr para o átomo de hidrogênio

$$r = \frac{4\pi\epsilon_0 \hbar^2 n^2}{m_e e^2} \quad n = 1, 2, 3... \quad (03)$$

Fonte: McQuarrie, 2008.

Em contraste com as órbitas de Bohr, quando se emprega a metodologia da equação de Schrodinger e a função radial para o estado 1s no átomo de hidrogênio, pode-se calcular a probabilidade com respeito à normalização sobre r. Dessa forma, se obtém na Equação 04:

Equação 05 – Probabilidade da posição do elétron em r

$$Prob = \frac{4}{a_0^3} r^2 e^{-2r/a_0} dr \quad (04)$$

Fonte: McQuarrie, 2008.

Esse resultado é o contrário do que o modelo de Bohr propõe, onde o elétron está incorretamente restrito a uma órbita bem definida e fixa (McQuarrie, 2008). Embora os substantivos sejam parecidos, a distinção é imperativa quando observamos a representação matemática do modelo, e não deve ser confundida. Em verdade, residem aqui os primeiros conceitos dos modelos quânticos dos átomos. É absolutamente relevante que seja abordado da maneira adequada pois ajuda a diferenciar a metodologia empregada na física clássica, daquela adotada na física quântica.

Por conta disso, A confiabilidade conceitual do aplicativo é **Regular**

Outro aplicativo em que se identificaram trechos que merecem revisão é o “Orbitais Virtuais Química 3D”. Este aplicativo ilustra os orbitais atômicos de diversos elementos como He, Be, C, O, entre outros. Na seção da teoria consta o seguinte: “*Orbitals are the imaginary place where electron exist. An orbital can contain maximum two electron*”. De acordo com a literatura consultada, os orbitais surgem como soluções da equação de Schrodinger e a definição mais adequada não é um espaço imaginário onde o elétron existe. Além disso, a representação dos orbitais de diferentes elementos está em desacordo com o que descreve McQuarrie (2008). Isto porque a resolução analítica da equação de Schrodinger é possível apenas para o átomo de Hidrogênio. Quando escrevemos a equação de Schrodinger para o átomo de Hélio, por exemplo, precisamos considerar a posição do núcleo, mas também de dois elétrons. Como resultado, obtemos uma equação mais complexa, como pode ser evidenciado na Equação 05.

Equação 05 – Equação de Schrodinger simplificada para o átomo de Hélio

$$\begin{aligned}
& -\frac{\hbar^2}{2m_e}(\nabla_1^2 + \nabla_2^2)\psi(r_1, r_2) - \frac{2e^2}{4}\pi\epsilon_0\left(\frac{1}{r_1} + \frac{1}{r_2}\right)\psi(r_1, r_2) + \frac{e^2}{4\pi\epsilon_0|r_1 - r_2|}\psi(r_1, r_2) \\
& = E\psi(r_1, r_2)
\end{aligned}
\tag{05}$$

Fonte: McQuarrie, 2008.

Na presença de mais elétrons surgem os termos de repulsão intereletrônica demonstrado pelo termo $e^2/4\pi\epsilon_0|r_1r_2|$ que só podem ser resolvidas por métodos de aproximação, que o aplicativo não aborda. Portanto, quando o aplicativo demonstra os orbitais atômicos de diferentes configurações eletrônicas como $[\text{Ar}]4s^23d^6$ idênticos aos orbitais atômicos do átomo de hidrogênio está fazendo de maneira absolutamente incorreta. Embora seja possível determinar os orbitais dos níveis eletrônicos ocupados por outros átomos como 4s, 3d, etc., eles não são os mesmos orbitais do hidrogênio empilhados um em cima dos outros como o aplicativo defende.

Por conta disso, este *app* recebeu a categorização de “Ruim”. Não é exagero definir estes pontos descritos como erros conceituais. No aplicativo “*HydrogenAtom*”, que é bastante semelhante, se observa o cuidado neste conceito, inclusive como o título demonstra.

4.3.2 Sobre a caracterização dos aplicativos com excelente confiabilidade conceitual

Com o objetivo de produzir uma discussão bem fundamentada, é válido demonstrar os trechos acurados daqueles aplicativos caracterizados como excelentes no que diz respeito à confiabilidade conceitual.

Para o caso do aplicativo *HydrogenAtom*, que tem funcionalidade e objetivos pedagógicos idênticos ao Orbitais Virtuais Química 3D(classificado como ruim na confiabilidade conceitual) é válido expor justamente trechos que se propõem a explicar o mesmo conceito, a fim de comparação.

Na seção de ajuda consta “*This app visualizes electron orbitals of the hydrogen atom*”. Dessa forma, ao contrário do que se discutiu anteriormente, aqui é respeitado o conceito e metodologia adequada no tratamento dos orbitais atômicos.

Em outro trecho, o aplicativo também se destaca na definição adequada dos orbitais: “*The orbitals are defined as cross-sections of the probability density to find electron at a particular space point which is defined by the square of the wave function of the energy eigenstate*”. Essa descrição é adequada, diferentemente daquela que considera os orbitais espaços imaginários onde o elétron existe. O termo *cross-sections* se refere à metodologia frequente de ilustrar separadamente a equação de Schrodinger nas partes radiais e angular. Acerca da densidade de probabilidade dada como o quadrado da função de onda, também está correto, como verificado na literatura consultada (MCQUARRIE, 2008)

Na seção teórica do aplicativo *HydrogenAtom* está presente um longo texto com diversas referências. Neste, pode-se encontrar informações relevantes referentes à natureza da Física Quântica. Trechos como “*with the development of quantum mechanics and experimental findings, it was found that the orbiting electrons around a nucleus could not be fully described as particles, but needed to be explained by the wave-particle duality*”. Defende-se aqui que esse tipo de citação contextualizado com um aplicativo simulador dos orbitais atômicos pode ser positivo à aprendizagem discente pois se associam os conceitos envolvidos no tratamento matemático das funções de onda. Dessa forma, se avança na compreensão dos fatores que diferenciam a Física Clássica da Física Quântica.

A respeito dos aplicativos *WebMO* e *Mo-Cubed* não se identificou textos com descrições acerca dos fenômenos ou conceitos da Química Quântica. O que foi considerado para caracterização aqui foram os resultados dos orbitais moleculares de moléculas diatômicas apresentados pelo aplicativo em relação à teoria qualitativa da ligação química presente no referencial teórico adequado. Verificou-se a ordem de ligação para uma série de moléculas, uma vez que esta análise contribui pra representação adequada da estabilidade da molécula. Todas as moléculas verificadas em ambos os aplicativos apresentaram a ordem de ligação acurada. (MCQUARRIE, 2008). As energias dos orbitais moleculares não foram investigadas, em função dos objetivos estabelecidos na pesquisa.

4.3.3 Sobre os níveis de ensino

Nenhum dos aplicativos analisados menciona explicitamente o nível educacional (educação básica ou educação superior) a qual se dirige prioritariamente. Dada a necessidade de conhecimentos matemáticos mais aprofundados que são exigidos no estudo de muitos

conteúdos de Química Quântica, por exemplo, seria importante distinguir explicitamente os níveis educativos para os quais os aplicativos foram concebidos.

4.3.4 Sobre as características de abordagem do aplicativo

Todos os aplicativos analisados se constituem em simuladores. Não foram selecionados wiki, games e calculadoras. Isso poderia ser importante para variar os recursos didáticos que estudantes merecem ter acesso, bem como favorecer a possibilidade de aprendizagem de determinados conteúdos. Por exemplo o uso de calculadoras seria imperativo para resolver questões de Química Quântica que poderiam colaborar no processo de ensino e aprendizagem de Química Quântica. É válido ressaltar no grande grupo da primeira seleção (Tabela 4) contém exemplos de games, calculadoras e wiki voltados para o ensino de quântica. Estes *apps*, entretanto, foram descartados por conta dos conteúdos que abordavam, como descreve a metodologia.

4.3.5 Sobre a presença de atividades avaliativas

Nenhum dos aplicativos se caracterizou pela presença de atividades avaliativas. A presença de tais atividades poderia colaborar na educação mediada pelas TDIC. Isso favoreceria o seu uso de forma mais autônoma fora do contexto das disciplinas, sejam na educação da superior, sejam da educação básica.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS E IMPLICAÇÕES À FORMAÇÃO DE PROFESSORES DE QUÍMICA

De maneira geral, pode-se afirmar que os simuladores são a categoria predominante hoje e podem contribuir para se abordar os conceitos de Números Quânticos, Orbitais Atômicos, Geometria Molecular, Orbitais Moleculares e Simetria.

No que se refere ao conjunto de conhecimentos sintetizados por esta pesquisa, alguns pontos se destacam. Acima de tudo, deve-se ressaltar o ineditismo desta área de investigação. Poucos trabalhos semelhantes são encontrados, com destaque para Nichele e Schlemmer (2013) e Oliveira, Souto e Carvalho (2016). Como efeito, ainda há de se estabelecer maior concordância entre as metodologias empregadas para analisar e caracterizar os aplicativos – instrumento, categorias, aspectos, etc.

Os resultados obtidos nesta pesquisa revelam a necessidade de se investigar as relações entre TDIC, ensino de química quântica e aprendizagem móvel. O conjunto de apps obtido aqui tem seu uso no ensino médio dificultado a começar pelo idioma por exemplo, embora projetos interdisciplinares com as linguagens possam ajudar a contornar esse obstáculo. Existem ainda outros aspectos exclusivos de cada aplicativo que não puderam ser investigados pois fogem do escopo do trabalho: o *app WebMO*, por exemplo, contém a possibilidade de agendar os cálculos em uma fila no servidor disponibilizado no aplicativo. É possível observar os resultados que outros usuários solicitaram, o que configura um grande potencial de uso na educação superior em Química. Os níveis educativos a qual se dirigem também precisam ser definidos, uma vez que essa informação não foi identificada nos *apps*. Isto é relevante, pois pode resultar em dados mais refinados para a comunidade científica e professores se apropriarem dessas tecnologias.

Além dos limites gerais e técnicos descritos anteriormente, também foram identificados limites pedagógicos: nos erros encontrados se destacam aqueles que misturam conceitos da Física Clássica com Física Quântica, além do insuficiente cuidado metodológico ao descrever os orbitais atômicos. Aplicativos que contém esses limites podem ser usados somente em cenários em que o professor/a reconhece o erro e planeja a atividade para tratar desse erro. Seja explicitando ou solicitando para que os aprendizes identifiquem o erro. A presença de um erro conceitual não torna o material inútil. De maneira geral, pode-se concluir que há um número

significativo de aplicativos gratuitos em inglês que podem ser empregados no ensino de Química Quântica.

A partir dos resultados obtidos são sinalizadas implicações à formação de professores de Química. Os aplicativos analisados apresentam potencial para serem utilizados pelos estudantes de cursos de licenciatura e bacharelado em química, haja vista o potencial dos conteúdos e limitações técnicas. Empregá-los nas componentes curriculares de química quântica pode contribuir de duas formas: revisar a representação dos modelos e conceitos quânticos e, mais especificamente para os licenciandos, desenvolver familiaridade com as metodologias TDIC e aumentar o leque de materiais conhecidos que podem futuramente serem utilizados nas escolas.

De maneira semelhante, existe um espaço fértil onde os aplicativos analisados podem ser trabalhados nas componentes curriculares da área de ensino de química mediado pelas TDIC. Mais especificamente, os aplicativos aqui selecionados poderiam estar presentes nas disciplinas que envolvam a prática docente em sala de aula. É conveniente que o aluno da licenciatura possa reconhecer as limitações técnicas como restrições de conteúdo nas versões gratuitas e potencialidades como os simuladores dos modelos de representação de orbitais atômicos, por exemplo. Dessa forma, os licenciandos podem tanto conhecer exemplos de aplicativos de Química Quântica quanto discutir com seus pares e professores sobre como utilizar esses aplicativos nas escolas. Ou seja, as metodologias que o aluno de licenciatura tem contato representam a formação inicial de professores em química. Abordar o estudo dos aplicativos sobre química quântica nesta etapa da formação pode construir um profissional mais preparado e que poderá atender melhor seus alunos.

Ora, isto também é verdade para aqueles estudantes que atuam em programas de iniciação à docência como o Programa Institucional de Bolsa de Iniciação à Docência (PIBID). Possivelmente, esse contexto é um dos mais prósperos em razão do fluxo de informação entre universidade, professor e alunos da escola que o PIBID oferece. O diálogo com o profissional que conhece a turma e contexto que a escola está inserida contribui na escolha do melhor aplicativo para o público adequado. Diferentes turmas significam diferentes limitações e potencialidades para cada *app*. Isto é, uma turma e/ou contexto escolar voltado para os projetos interdisciplinares de Língua Inglesa, por exemplo, se destaca com maior potencial para empregar os aplicativos selecionados. Analogamente, para uma turma que apresenta

dificuldades no aprendizado de conceitos de Química Quântica, aqueles aplicativos que apresentam baixa confiabilidade conceitual são menos recomendados, pois podem confundir o aluno, resultando em aulas contraproducentes.

A recomendação se estende naturalmente ainda para os professores de química que atuam nas escolas da rede de educação básica. Para esses profissionais este trabalho é útil de duas maneiras: os resultados explanados revelam potencialidades para uso no ensino aprendizagem de Química Quântica e podem ser imediatamente adaptados nas suas metodologias em sala de aula. Haja vista a necessidade de preparo interdisciplinar com os professores da área das linguagens. Aplicativos como *Hydrogen Atom* e *Mo-Cubed* tem potencial para uso na educação básica nos conteúdos de números quânticos, orbitais atômicos e orbitais moleculares e podem contribuir para que o aprendiz refine as representações que conhece dos modelos quânticos; todavia, provavelmente o que se produziu de mais útil para um professor em atuação na escola de educação básica são os instrumentos de caracterização dos aplicativos. Esses profissionais trabalham diariamente com diversos conteúdos bem como diversos públicos e contextos escolares. Dessa forma, empregar os métodos de análise e caracterização desenvolvidos aqui é útil também para selecionar outros aplicativos que abordem conceitos para além da Química Quântica, como a Química Orgânica, por exemplo.

Nesta esteira, surge seguramente a recomendação destes aplicativos e instrumentos desenvolvidos para os programas de formação permanente. Melhor dizendo, se o ensino de química quântica mediado por aplicativos é relevante na formação inicial de professores, é também, na mesma medida, importante na formação continuada dos professores de química. Neste assunto, se destaca que inserção destes *apps* na componente curricular dos programas de formação permanente contribui na atualização das metodologias empregadas no ensino de química quântica. Os instrumentos e métodos de análise também podem ser socializados. Neste caso, o potencial é geral para o ensino de Química.

Quando se coloca em perspectiva a formação de professores é necessário discutir também a pós-graduação em química, visto que é um dos *lócus* de formação do professor que atuará na educação superior em Química. É neste espaço privilegiado do estudante de pós-graduação em química que reside um potencial imenso nos aplicativos *Mo-Cubed* e *WebMo*, por exemplo. Dessa forma, os aprendizes podem ter contato com exemplos de aplicativos de Química Quântica a serem utilizados na educação superior em Química. De maneira

pragmática, se reforça a possibilidade de cálculos quânticos em um servidor, como disponibilizado pelo *WebMO*. Para este público também são possíveis investigações futuras que explorem as características **quantitativas** dos conceitos aqui identificados. Quer dizer, cálculos de otimização, probabilidade, e transições eletrônicas de moléculas grandes geralmente exigem condições materiais de força computacional, que tem seu custo elevado. Contornar esse obstáculo com a possibilidade de comunicação entre um dispositivo móvel e um servidor é uma potencialidade que não foi identificada por nenhuma literatura consultada.

Quando se discorre acerca dos cálculos de orbitais moleculares, geometria molecular e otimização evoca-se a química quântica computacional. Na Educação Superior pode-se explorar temas quantitativos neste assunto, por exemplo: qual o método que cada um dos aplicativos emprega na otimização; verificar se os valores de energia calculados estão acurados; verificar se a função de onda calculada para os orbitais atômicos e moleculares estão corretos. Essas discussão ainda pode ser colocada em diversas perspectivas, seja para utilizar os aplicativos de maneira experimental ou como um verificador dos conceitos estudados na pós graduação em química.

Tudo isto indica significa este trabalho como uma pequena colaboração no vasto campo que é a pesquisa em ensino de química. Naturalmente, se revelaram os pontos que carecem de mais exploração em pesquisas futuras no processo de ensino e aprendizagem de Química Quântica.

REFERÊNCIAS

- AFONSO, Nathália. #Verificamos: É falso que alimentos com ‘pH mais alcalino’ ajudam no combate à Covid-19. **Revista Piauí**, 2020. Disponível em: <https://piaui.folha.uol.com.br/lupa/2020/04/16/verificamos-ph-alimentos-covid/>. Acesso em: 14 abr. 2021.
- ALESC. Legislação Estadual nº 14.363, de 25 de janeiro de 2008. **Lei Nº 14.363, de 25 de Janeiro de 2008**: Dispõe sobre a proibição do uso de telefone celular nas escolas estaduais do Estado de Santa Catarina.. 1. ed. Florianópolis, SC, 25 jan. 2008. v. 1, n. 1, Seção 1, p. 1-1. Disponível em: http://leis.alesc.sc.gov.br/html/2008/14363_2008_lei.html. Acesso em: 17 abr. 2021.
- ALESC. **Projeto de Lei Nº 0198.8/2016 nº 7017**. Altera a Lei nº 14.363, de 25 de janeiro de 2008, que dispõe sobre a proibição do uso de telefone celular nas escolas estaduais do Estado de Santa Catarina .Diario da Assembleia. Florianópolis, 2016. Disponível em: <https://www.alesc.sc.gov.br/diarios/pdf/7017dia.pdf>. Acesso em: 28 fev. 2022.
- ANATEL, Agência Nacional de Telecomunicações. **PANORAMA SETORIAL DE TELECOMUNICAÇÕES SETEMBRO/2020**. 2020. Disponível em: <https://www.gov.br/anatel/pt-br/dados/acompanhamento/relatorios-de-acompanhamento/2020>. Acesso em: 14 abr. 2021.
- ARAUJO NETO, Waldir Nascimento de. A noção clássica de valência e o limiar da representação estrutural. **Química Nova na Escola: Cadernos Temáticos de Química Nova na Escola**, São Paulo, v. 7, n. 4, p. 13-23, 7 dez. 2007. Disponível em: <http://qnesc.sbq.org.br/caderno.php?idCaderno=8>. Acesso em: 16 abr. 2021.
- ASSIS, A, M, A, D., BELLO, M, E, R, B., O conteúdo “modelos atômicos” em livros didáticos do ensino médio de diferentes PNLEM, Divisão de ensino de química da sociedade brasileira de química (ED/SBQ), Instituto de química da universidade federal da Bahia (IQ/UFBA), XVI Encontro nacional de ensino de química (XVI ENEQ) e X **Encontro de educação química da Bahia** (X Eduqui), Salvador, BA, julho de 2012.
- BRASIL. MEC/CNE. **Base nacional comum curricular (BNCC)**. Disponível em <http://basenacionalcomum.mec.gov.br>, acessado em novembro 2021.
- BRASIL. **Secretaria Nacional de Juventude (SNJ)**. Agenda juventude Brasil: pesquisa nacional sobre perfil e opinião dos jovens brasileiros. Brasília, DF: SNJ, 2013. Disponível em: <participatorio/participatorio/agenda-juventude-brasil-veja-versaoatualizada#>. VyiZjdIrKM8.
- BRASIL, MEC. **Orientações Curriculares Complementares aos parâmetros curriculares nacionais: ciências da natureza, Matemática e suas tecnologias**. PCN+. Brasília: MEC, 2002. Disponível em: <http://portal.mec.gov.br/seb/arquivos/pdf/CienciasNatureza.pdf>>. Acesso em: 24 fev. 2022.
- BRASIL, MEC. **Orientações Curriculares para o Ensino Médio: Ciências da Natureza, Matemática e suas Tecnologias. Ensino médio**. Brasília: MEC, 2006. Disponível em:

http://portal.mec.gov.br/seb/arquivos/pdf/book_volume_02_internet.pdf. Acesso em 15 abr. 2021

CASTELFRANCHI, Yuri et al. As opiniões dos brasileiros sobre ciência e tecnologia: o ‘paradoxo’ da relação entre informação e atitudes. **História, Ciências, Saúde – Manguinhos**, Rio de Janeiro, v.20, supl., nov. 2013, p.1163-1183.

EVE, R. A.; DUNN, D. Psychic Powers, Astrology & Creationism in the Classroom? Evidence of Pseudoscientific Beliefs among High School Biology & Life Science Teachers. **The American Biology Teacher**, v. 52, n. 1, p. 10-21, Jan. 1990.

FURG. **PROJETO PEDAGÓGICO DO CURSO DE ENFERMAGEM**. 2021. Disponível em: <https://eenf.furg.br/cursos/graduacao/pppenf>. Acesso em: 15 abr. 2021

JOHNSON, Joseph. Statista How many people use the internet? 2021. Disponível em: <https://www.statista.com/statistics/617136/digital-population-worldwide/#:~:text=How%20many%20people%20use%20the,the%20internet%20via%20mobile%20devices..%20Acesso%20em:%2012%20abr.%202021>.

JORDAN, Douglas; TUMPEY, Dr. Terrence; JESTER, Barbara. The Deadliest Flu: The Complete Story of the Discovery and Reconstruction of the 1918 Pandemic Virus: centers for disease control and prevention. **Centers for Disease Control and Prevention**. 2020. Disponível em: <https://www.cdc.gov/flu/pandemic-resources/reconstruction-1918-virus.html#background>. Acesso em: 14 abr. 2020.

KALLERY, M. Early-years Educators’ Attitudes to Science and Pseudo-science: The case of astronomy and astrology. **European Journal of Teacher Education**, v. 24, n. 3, p. 329-342, Oct. 2001.

LOPEZ, Moreno Esteban; PETRONILHO, Heidelmann Stephany. Recursos Instrucionais Inovadores para o Ensino de Química. **Química Nova na Escola**, São Paulo, v. 39, n. 1, p. 12-18, fev. 2017. Sociedade Brasileira de Química (SBQ). <http://dx.doi.org/10.21577/0104-8899.20160055>. Disponível em: http://qnesc.sbq.org.br/online/qnesc39_1/04-EQM-17-16.pdf. Acesso em: 17 abr. 2021.

MARTIN, M. Pseudoscience, the paranormal, and science education. *Science and Education*, v. 3, n. 4, p. 357-371, Oct. 1994. MCCLOUGHLIN, T.; KALLERY, M.; PSILLOS, D. The Coconstruction of Scientific and Nonscientific Belief Systems in Educators. **Cybernetics and Systems**, v. 46, n. 6-7, p. 543-553, 3 Oct. 2015.

MCQUARRIE, Donald A.. The Hydrogen Atom. In: MCQUARRIE, Donald A.. **Quantum Chemistry**. 2. ed. Mill Valley, Califórnia: University Science Books, 2008. Cap. 7. p. 321-366.

MCQUARRIE, Donald A.. Qualitative Theory of Chemical Bonding. In: MCQUARRIE, Donald A.. **Quantum Chemistry**. 2. ed. Mill Valley, Califórnia: University Science Books, 2008. Cap. 11. p. 560-605.

MONTENEGRO, R et al. Interpretações da Teoria Quântica e as Concepções dos Alunos do Curso de Física. **Investigações em Ensino de Ciências**, v. 7, n. 2, p. 107-126, maio 2002.

MOURA, A. M. C. Apropriação do telemóvel como ferramenta de mediação em mobile learning: estudos de caso em contexto educativo. 2010. Tese (Doutoramento em Ciências da Educação) – **Instituto de Educação, Universidade do Minho**, Braga, 2010.

MOURA, Livia; CAMARGO, Gustavo. Impacto econômico e social do Android no Brasil. 2019. Disponível em: https://www.bain.com/contentassets/20e0815cfd784b4a8dead63475b42380/v02_b-impactos-do-android-no-brasil.pdf. Acesso em: 14 abr. 2021.

MOURA, Mairus Disconzi de; SANTOS, Renato P. dos. Detectando misticismo quântico em livros publicados no Brasil com Ciência de Dados. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, [S.L.], v. 34, n. 3, p. 725-744, 8 dez. 2017. Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC). <http://dx.doi.org/10.5007/2175-7941.2017v34n3p725>.

NICHELE, A.G.; SCHLEMMER, E. Tablets no Ensino de Química nas Escolas Brasileiras: investigação e avaliação de aplicativos. In: **III Colóquio Luso Brasileiro de Educação a Distância e E-learning**, 2013, Lisboa: Universidade Aberta, LEAD, 2013. p. 1-15.

NICHELE, A.G.; SCHLEMMER, E. Aplicativos para o ensino e aprendizagem de Química. **CINTED- Novas Tecnologias na Educação**, Porto Alegre, v.12n. 5, p. 1-9, dez. 2014. Disponível em: <https://seer.ufrgs.br/renote/article/view/53497>. Acesso em abr. 2021

OLIVEIRA, Jaqueline da Silva. **Proposta de um novo programa de Atomística para o ensino médio, com a inserção de conceitos de Química Quântica**. 2016. 144 f. Monografia (Especialização) - Curso de Licenciatura em Química, Centro de Ciências Matemáticas e da Natureza Instituto de Química, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2016. Disponível em: <https://pantheon.ufrj.br/handle/11422/6519>. Acesso em: 14 abr. 2021.

OLIVEIRA, Fabio Caires de; SOUTO, Daise. José Carvalho. **Revista Tecnologias na Educação**, Minas Gerais Brasil, v. 17, n. 9, p. 1-12, nov. 2016. Disponível em: <http://tecedu.pro.br/wp-content/uploads/2016/09/Art9-ano8-vol17-dez2016.pdf>. Acesso em: 16 abr. 2021.

PESSOA JUNIOR, Osvaldo. A representação pictórica de entidades quânticas da Química. **Química Nova na Escola: Cadernos Temáticos de Química Nova na Escola**, São Paulo, v. 7, n. 5, p. 25-33, 7 dez. 2007. Disponível em: <http://qnesc.sbq.org.br/caderno.php?idCaderno=8>. Acesso em: 16 abr. 2021.

PIERUCCI, A. F. O crescimento da liberdade religiosa e o declínio da religião tradicional: a proposito do censo 2010. **Anuac - Rivistadell "Associazione Nazionale Universitari degli Antropologi Culturali"**, v. 1, n. 2, Jul. 2012.

QUAREZEMIN NETO, C.; SILVA, J. C. da; PINTO, V. C. Uma chamada a cobrar: a escola e o celular em sua difícil convivência. **EntreVer**, Florianópolis, v. 2, n. 2, p. 56-62, 2012.

RAMOS, Lucilene Correia; SILVA, Juliel Cerqueira da; SILVA, José Luis de Paula Barros. Modelo atômico quântico em coleções de química aprovadas no PNL 2015.: parte i: quantum de energia, dualidade onda-partícula e números quânticos. In: X ENCONTRO

NACIONAL DE PESQUISA EM EDUCAÇÃO EM CIÊNCIAS – X ENPEC, 10., 2015, Águas de Lindóia. **Ensino e aprendizagem de conceitos científicos**. Águas de Lindóia: Aa, 2015. v. 213, p. 1-8. Disponível em: <http://www.abrapecnet.org.br/enpec/x-enpec/anais2015/resumos/R1372-1.PDF>. Acesso em: 16 abr. 2021.

REUTERS, RODRIGO CARRO FINANCIAL. Brazil: digital news report. **Digital News Report**. 2020. Disponível em: <https://www.digitalnewsreport.org/survey/2020/brazil-2020/>. Acesso em: 12 abr. 2021.

SACCOL, A.; SCHLEMMER, E.; BARBOSA, J. M-learning e u-learning: novas perspectivas das aprendizagens móvel e ubíqua. São Paulo: **Pearson Prentice Hall**, 2011.

STATISTA. **Global digital population as of January 2021**. 2021. Disponível em: <https://www.statista.com/statistics/617136/digital-population-worldwide/#:~:text=How%20many%20people%20use%20the,the%20internet%20via%20mobile%20devices..> Acesso em: 12 abr. 2021

VIEIRA, Liliana de Sousa; COUTINHO, Clara Pereira. Mobile learning: perspetivando o potencial dos códigos QR na educação. Universidade do Minho. **Centro de Competência do Projecto Nónio Século XX**. Braga, Portugal, p. 73-91. 2013. Disponível em: http://repositorium.sdum.uminho.pt/bitstream/1822/25450/1/Liliana_challenges2013.pdf. Acesso em: 10 abr. 2021.

ZIMMERMAN, Corinne; CROKER, steve. A Prospective cognition Analysis of Scientific Thinking and the Implications for Teaching and Learning Science. **Journal of Cognitive Education and Psychology**, v. 13, n. 2, p. 245-57, 1 Jun