

PARA ALÉM DOS LIVROS: ACD/CHEMSKETCH® COMO FERRAMENTA FACILITADORA NO ENSINO DE QUÍMICA

Marcus Vinícius Hungaro Faria ¹, Raphael Salles Ferreira Silva ² e Pâmela Rossi dos Reis ³

Resumo

Este trabalho teve como objetivo investigar a aplicação do Programa Educacional gratuito ACD/ChemSketch® como facilitador no ensino de Química no Ensino Médio. A abordagem interativa, centrada na visualização tridimensional de moléculas e no cálculo da distância entre átomos, mostrou-se eficaz para envolver os estudantes e facilitar a compreensão de conceitos como raio atômico. Os resultados da pesquisa indicaram uma ampla aceitação das aulas interativas. A maioria dos discentes relatou benefícios para o aprendizado em Química. As respostas obtidas por meio de um formulário *Google* também enfatizaram a novidade proporcionada pelo programa, destacando a importância de abordagens digitais na educação. Esta experiência evidencia que a integração de recursos tecnológicos pode enriquecer o processo de ensino-aprendizagem, tornando o conteúdo mais acessível e estimulante para os estudantes.

Palavras-chave: Ensino de Química; Programa Educacional; Raio Atômico.

Beyond the Books: ACD/ChemSketch® as a Facilitating Tool in Chemistry Education

Abstract

This work aimed to investigate the application of the free ACD/ChemSketch® Educational Program as a facilitator in teaching Chemistry at the high school level. The interactive approach, focused on the three-dimensional visualization of molecules and the calculation of atomic distances, proved to be effective in engaging students to understand concepts, particularly concerning atomic radius. The research results indicated widespread acceptance of interactive classes, with the majority of students reporting benefits for learning Chemistry. Student responses from a Google form also emphasized the novelty provided by the program, highlighting the importance of digital approaches in education. This experience underscores that the integration of technological resources can

1Professor do Colégio Militar do Rio de Janeiro. Mestre (2019) e Licenciado (2014) em Química pela UFRJ.

2Professor do Colégio Militar do Rio de Janeiro. Mestre (2005) e Doutor (2009) em Química pela UFRJ.

3Professora do Colégio Militar do Rio de Janeiro. Mestre em Química (2023), pela UFF e Licenciada em Química (2015) pela IFSUDESTEMG.



enhance the teaching and learning process, making the content more accessible and stimulating for students.

Keywords: Chemistry Education; Educational Program; Atomic Radius.

1. Introdução

Este trabalho tem sua fundamentação na dissertação intitulada “*Desenvolvimento e Aplicação de uma Estratégia Combinando Ferramentas Facilitadoras de Ensino para o Ensino de Química no Ensino Médio, incluindo Métodos Computacionais e Arte de Rua Madonnaro*” (Faria, 2019). Esta dissertação foi elaborada como requisito de conclusão de mestrado no curso de Química da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, apresentada no ano de 2019, culminando na obtenção do grau de mestre em Química.

Atualmente, vivenciamos uma revolução educacional impulsionada pela disseminação do uso de ferramentas tecnológicas, proporcionando benefícios significativos ao processo de ensino-aprendizagem. Essas tecnologias, com sua variedade de recursos, têm o potencial de modernizar as práticas pedagógicas, viabilizando a criação de aulas digitais que aprimoram o desempenho acadêmico dos discentes (Faria *et al.*, 2023).

A crescente presença e a constante evolução das novas tecnologias na sociedade têm impacto significativo no ambiente escolar, destacando-se a informática como um valioso instrumento didático. Nesse cenário, a profusão de Programas Educacionais (PE) proporciona oportunidades para os professores explorarem abordagens inovadoras, permitindo uma transição eficaz entre atividades tradicionais (Valente, 1999).

Esses PE são recursos digitais que potencializam o processo de ensino-aprendizagem, contribuindo significativamente para melhorias no aprendizado dos estudantes. Oferecem uma variedade de situações, procedimentos e representações simbólicas, facilitando a aquisição de conceitos em diversas áreas do conhecimento. Na disciplina de Química, por exemplo, os PE possibilitam a demonstração e simulação de vários conceitos, tornando o aprendizado mais dinâmico e visual (Raupp; Serrano; Martins, 2008).

Em consonância com a necessidade de adequar e inovar a metodologia do ensino de Química, este trabalho propôs a utilização de recursos tecnológicos, em particular, o programa ACD/ChemSketch®. O programa foi empregado ao estudo da Tabela Periódica, explorando as Propriedades Periódicas e, mais especificamente, abordando o conceito de Raio Atômico as quais correspondem às competências C2 e habilidades HQ3 e HQ4 da Base Nacional Curricular Comum (BNCC). Essa abordagem visa promover a qualidade no processo de ensino e aprendizagem, alinhando-se à crescente presença de tecnologias educacionais.



2. Tecnologias da Informação e Comunicação no Processo de Ensino-Aprendizagem

O progresso tecnológico desempenhou um papel central na criação de diversas ferramentas que impulsionaram avanços na comunicação e acesso à informação. Essas ferramentas, agora categorizadas como Tecnologias da Informação e Comunicação (TICs), desempenham um papel essencial na melhoria do processo de ensino-aprendizagem. A flexibilidade proporcionada pelos computadores tem contribuído para melhorias significativas nesse contexto.

Segundo Leal *et al.* (2020, p. 3734),

O emprego das tecnologias de informação e comunicação (TICs) no âmbito educacional possibilita a elaboração de aulas mais interativas e que permitem a visualização de aulas práticas através de vídeos e *softwares*, favorecendo para a construção de abordagem voltada para o contexto real dos alunos.

Atualmente, é praticamente impossível conceber um processo de ensino-aprendizagem sem a incorporação de ferramentas tecnológicas como recursos didáticos essenciais. A tecnologia desempenha um papel crucial no aprimoramento do desempenho dos estudantes, e o uso de ambientes digitais oferece uma oportunidade valiosa para a construção do conhecimento científico em sala de aula, estabelecendo uma parceria essencial com os estudantes como interlocutores ativos no processo educacional (Júnior; Cirino, 2017).

Dessa forma, as TICs se tornam estratégias didáticas virtuais para explicar as especificidades no universo atômico, superando a tradicional transmissão de conhecimento limitada a livro didático, giz e lousa. A abordagem socializadora do ensino, incorporando TICs, permite aos estudantes assimilarem o conteúdo escolar, relacionando-o à sua realidade (Dionízio *et al.*, 2019).

A integração das TICs no ambiente educacional desafia os educadores a expandirem seus conhecimentos e enfrentarem novos cenários. Assim, torna-se essencial que os professores atualizem suas abordagens pedagógicas para permitir aulas mais bem elaboradas para alcançar os objetivos pedagógicos propostos.

2.2. Utilização de Programas Educacionais (PE)

A introdução das TICs nas instituições educacionais reflete a adoção de novas práticas e situações que oferecem contribuições substanciais para o processo de aprendizagem dos estudantes. Quando utilizadas de maneira pedagogicamente integradas a uma abordagem significativa dos conteúdos, as



TICs transcendem a simples informatização do ensino, evitando as limitações de seu papel a meros instrumentos de instrução para os estudantes. Nesse contexto, as tecnologias emergem como um meio eficaz para a concretização do processo de aprendizagem.

Como destacado por Bernardi (2010, p. 2),

No processo de incorporação das tecnologias na escola, aprende-se a lidar com a diversidade, a abrangência e a rapidez de acesso às informações, bem como com novas possibilidades de comunicação e interação, o que propicia novas formas de aprender, ensinar e produzir conhecimento.

Essa transformação é impulsionada pela capacidade intrínseca dos seres humanos de criar em resposta a necessidades coletivas, gerando novos conhecimentos para a produção de tecnologias. Segundo Kampff (2006, citado por Bernardi, 2010), impulsionados por necessidades e desejos, os indivíduos inventam artefatos que não apenas transformam o mundo, mas também redefinem a maneira como interagem com ele.

Antes mesmo da revolução industrial e do uso de instrumentos rudimentares na agricultura, a tecnologia tem desempenhado um papel benéfico na sociedade. Atualmente, vivemos em uma era tecnológica, onde a informática se destaca como facilitadora para a utilização do computador como instrumento didático. Essa realidade é evidenciada pela profusão de PE disponíveis no mercado, oferecendo diversas oportunidades para aprimorar o processo de aprendizagem.

2.3. Propriedades Periódicas no Ensino de Química

A Tabela Periódica tem sido uma ferramenta padrão para o ensino de química desde o início do século XX, instruindo sobre as propriedades periódicas dos elementos. O conceito de periodicidade desempenha um papel fundamental no ensino para permitir a assimilação dos conceitos atômicos abstratos os quais são distantes da realidade dos estudantes (Tolentino, 1997; Caruso, 1997).

Ao explorar a periodicidade, os estudantes precisam desenvolver habilidades como a criação e interpretação de tabelas e gráficos, bem como a capacidade de formular modelos, muitas vezes com o auxílio do professor (Galagovsky, 2009).

O ensino da Química, especialmente no contexto das propriedades periódicas, requer processos de teorização, construção e orientação de modelos para viabilizar a interpretação e explicação dos resultados pelos estudantes (Souza, 2008). Essas atividades podem ser aprimoradas com o uso de recursos computacionais, uma vez que alguns softwares oferecem subsídios que estimulam a reflexão de maneira mais abrangente (Bettio; Martins, 2012).



Na atualidade, é crucial incorporar recursos computacionais no ensino, considerando a interligação da educação com o ambiente do estudante. O uso desses recursos deve envolver o estudante, destacando o computador como uma ferramenta que facilita a compreensão de conceitos abstratos na Química, evitando mera memorização. Ao desenvolver roteiros para a utilização do computador e *software* correspondente, a aquisição de conhecimento pode ser facilitada e acelerada (Medeiros, 2013).

3. Metodologia

3.1. Classificação da Pesquisa

O estudo traçou uma abordagem qualitativa com características analíticas. Vale destacar que o cronograma experimental foi estruturado em consonância com o planejamento de aulas e conteúdos programáticos da escola.

É relevante ressaltar que o calendário e planejamento de aulas são fornecidos aos professores no início do ano letivo, já estruturado e sem possibilidade de alteração. A coleta de dados foi realizada por meio de questionário no formato do *Google* Formulários.

3.2. Procedimento Experimental

O desenvolvimento do trabalho transcorreu ao longo de duas aulas expositivas/práticas, cada uma com duração de uma hora, utilizando o programa ACD/ChemSketch® do pacote ACD/Labs. Inicialmente, o programa gratuito foi adquirido por meio do *site* <http://www.acdlabs.com/resources/freeware/chemsketch>.

Durante essa fase inicial, algumas de suas funções foram apresentadas, destacando seu caráter avaliativo. Essa abordagem teve como objetivo facilitar a transmissão do conteúdo pelo professor e a compreensão pelos trinta e dois estudantes da 3ª série do Ensino Médio, com uma média de idade de 17 anos.

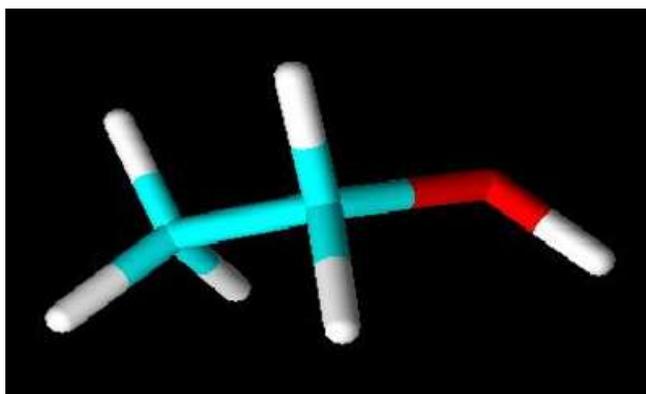
Enquanto o programa era baixado e instalado nas máquinas, por meio de um tutorial elaborado pelo professor, os discentes receberam orientações para desenhar manualmente estruturas como ácido clorídrico (HCl), água (H₂O), trihidreto de boro (BH₃), amônia (NH₃) e metano (CH₄) antes de qualquer contato com a ferramenta. Essa etapa inicial visava preparar os estudantes para a utilização do programa, proporcionando uma base prática para a compreensão posterior das funcionalidades do ACD/ChemSketch®.

Após a instrução sobre o uso, os discentes reproduziram essas moléculas no ACD/ChemSketch®. Também foram solicitados desenhos, tanto no papel quanto no programa, de moléculas relevantes para o ensino de Química



Orgânica, tais como: etanol (Figura 1), butano, eteno, ácido acético, bromobenzeno, álcool isobutílico, fenol, éter dietílico, metanal, propanona, butanoato de etila, etanoato de etila, metilamina e benzamida.

Figura 1- Visualização da estrutura 3D do etanol usando o programa ACD/ChemSketch®. Azul ciano são os átomos de carbono, branco os átomos de hidrogênio e vermelho o átomo de oxigênio.

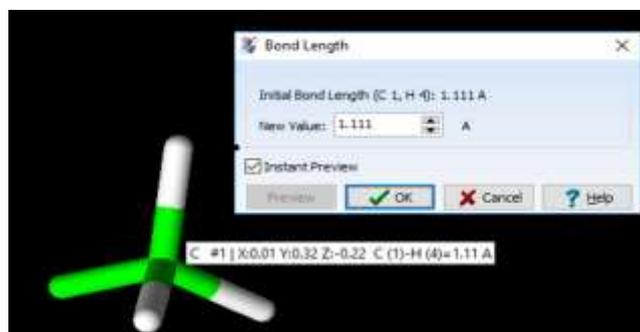


Fonte: Autor

Na segunda aula, enfatizou-se o uso do ACD/ChemSketch® para medir distâncias de ligação, proporcionando uma visualização mais clara do tamanho relativo dos átomos, expresso pelo raio atômico em Ångström (Å) (Ångström (Å) é uma unidade de medida equivalente a 10^{-10} m). Utilizamos uma ferramenta de medição de distância *Bond Length* para comparar as distâncias de ligação entre um átomo de hidrogênio e um átomo "central" em diferentes moléculas.

Essa aplicação ocorreu em geometrias estudadas do ensino médio, como linear, angular, trigonal, piramidal e tetraédrica, em moléculas específicas predefinidas. A Figura 2 exemplifica esse procedimento, evidenciando a importância do programa na determinação precisa das distâncias de ligação e, conseqüentemente, no entendimento do tamanho relativo dos átomos envolvidos.

Figura 2 - Desenho estrutural da molécula CH₄, utilizando o recurso de mediação da distância relativa entre a ligação C-H (valor de 1,111Å) com o programa ACD/ChemSketch®. Verde ao centro é o átomo de carbono, branco os átomos de hidrogênio, e verde a esquerda o átomo de hidrogênio está selecionado para o uso da função *Bond Length*.



Fonte: Autor

Na etapa final, a tarefa consistia em desenhar no programa e usar a ferramenta de medição de distância *Bond Length* as moléculas abaixo (Quadro 1). As moléculas escolhidas seguiram uma tendência natural, em que os elementos ligados ao átomo central pertencem à mesma família ou grupo. Essa abordagem permitiu que os discentes observassem a mudança crescente ou decrescente do raio atômico.

Quadro 1: Moléculas desenhadas com programa ACD/ChemSketch®.

i. Geometria linear:	ii. Geometria Angular:
a) H ₂ , HF, HCl, HBr e HI;	a) H ₂ O, H ₂ S e H ₂ Se;
b) O ₂ , S ₂ e Se ₂ ;	
c) N ₂ , P ₂ e As ₂ ;	
d) CO ₂ e SiO ₂ ;	
iii. Geometria Trigonal Plana:	iv. Geometria Piramidal:
a) BF ₃ ;	a) NH ₃ , PH ₃ e AsH ₃ ;
b) BCl ₃ ;	b) NF ₃ , PF ₃ e AsF ₃ ;
c) BH ₃ ;	c) NCl ₃ , PCl ₃ e AsCl ₃ ;
v. Geometria Tetraédrica:	
a) CH ₄ e SiH ₄ ; b) CF ₄ e SiF ₄ ; c) CCl ₄ e SiCl ₄ ; d) CBr ₄ e SiBr ₄ ; e) CI ₄ e SiI ₄ ;	

Fonte: Autor

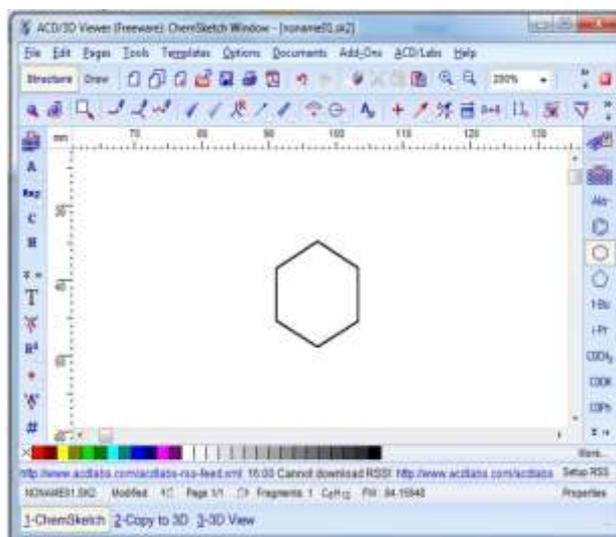
4. Resultados e discussões

4.1. Análise das Funcionalidades do Programa

Durante a aplicação do programa ACD/ChemSketch®, uma análise detalhada das funcionalidades foi realizada para avaliar sua eficácia no ensino de Química. Os discentes, ao explorarem as capacidades do programa, puderam visualizar e manipular estruturas moleculares em três dimensões, saindo do tradicional ambiente bidimensional.

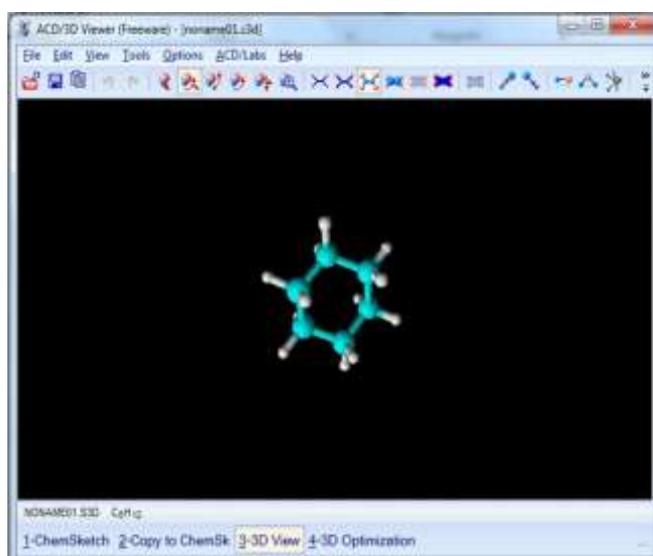
O destaque foi para a transposição de imagens de 2D para 3D (Figuras 3a e 3b), um recurso que permitiu aos estudantes uma compreensão mais profunda das estruturas moleculares. A facilidade de acesso e a interatividade proporcionada pelo programa foram elementos essenciais que contribuíram para uma abordagem mais dinâmica e prazerosa no aprendizado de conceitos químicos. Essa análise visava fornecer *insights* sobre como as funcionalidades do programa impactaram a compreensão e o interesse dos discentes no estudo da Química.

Figura 3a - Molécula de cicloexano sendo projetada em uma imagem em 2D no programa ACD/ChemSketch®.



Fonte: Autor.

Figura 3b - Molécula de cicloexano sendo projetada em uma imagem em 3D utilizando recursos de transposição de imagem 2D para 3D oferecido no programa ACD/ChemSketch®.



Fonte: Autor.

Vale ressaltar que, no momento da aula, o professor realizou uma breve pesquisa entre os estudantes, questionando quem já havia visto e interagido com estruturas moleculares sendo transpostas de imagens 2D para 3D.

Foi constatado que quase a totalidade da turma relatou que não havia tido essa experiência anteriormente.

Essa constatação destaca a novidade e a inovação proporcionadas pela utilização do programa ACD/ChemSketch® na escola. A capacidade de visualizar e manipular estruturas moleculares em três dimensões, antes restritas a representações bidimensionais, demonstrou ser uma ferramenta educacional impactante.

A funcionalidade *Bond Length* proporcionou uma abordagem inovadora em relação à tradicional regra das setas encontrada nos livros didáticos, que frequentemente é utilizada como meio de memorização para identificar os elementos com maiores e menores raios atômicos na tabela periódica. Ao utilizar essa ferramenta, os discentes puderam adotar uma abordagem mais prática e empírica para determinar o tamanho relativo de cada átomo.

A capacidade de calcular as distâncias relativas entre átomos (Figuras 4a, 4b, 4c e 4d), permitiu que os estudantes vissem além da simples memorização de padrões periódicos. Eles puderam, de fato, avaliar o tamanho relativo dos átomos de maneira mais tangível e compreensível, promovendo um estudo mais profundo do conceito de raio atômico.

Portanto, o uso da funcionalidade *Bond Length* não apenas simplificou a compreensão do raio atômico, mas também enriqueceu a experiência de aprendizado dos estudantes, incentivando uma abordagem mais investigativa e prática em relação aos conceitos químicos.

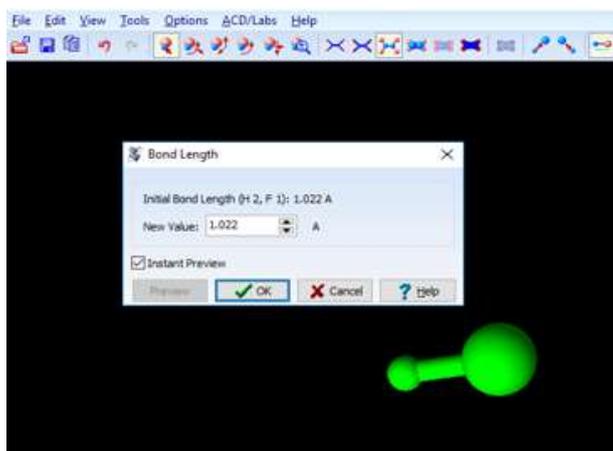


Figura 4a - Cálculo da distância relativa entre dois átomos de hidrogênio = 0,708 Å.



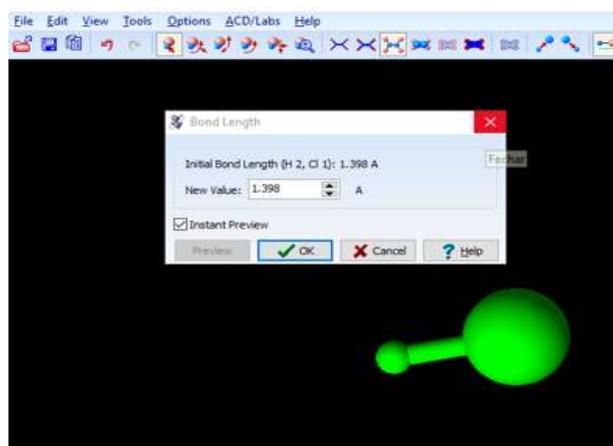
Fonte: Autor.

Figura 4b - Cálculo da distância relativa entre um átomo de hidrogênio (esfera menor) e um de flúor = 1,022 Å.



Fonte: Autor.

Figura 4c- Cálculo da distância relativa entre um átomo de hidrogênio (esfera menor) e um de cloro = 1,398 Å.



Fonte: Autor.

Figura 4d- Cálculo da distância relativa entre um átomo de hidrogênio (esfera menor) e um de bromo = 1,546 Å.



Fonte: Autor.

4.2. Análise do Formulário *Google* respondido pelos discentes

A análise dos dados coletados do Formulário *Google* indica uma tendência significativa a favor do uso da abordagem. Partindo da pergunta: “*Na sua opinião, as aulas interativas contribuíram para o seu aprendizado em química?*”, uma expressiva maioria dos discentes, 91,2%, acredita que as aulas interativas contribuíram positivamente para o seu aprendizado. Essa resposta sugere que a abordagem utilizando o programa, com suas funcionalidades interativas, teve um impacto significativo na percepção dos estudantes em relação ao processo de aprendizagem, sendo bem recebida e efetiva na promoção do aprendizado dos estudantes.

Uma parcela minoritária, de 8,8%, que respondeu “talvez”, indica que há uma pequena variação nas experiências e percepções dos discentes em relação à eficácia das aulas interativas. Essa ambiguidade pode ser atribuída a diferentes estilos de aprendizado, níveis de familiaridade com as ferramentas utilizadas ou preferências individuais.

Curiosamente, nenhum estudante indicou que as aulas interativas não contribuíram para seu aprendizado. Essa ausência de respostas negativas sugere que, pelo menos na amostra analisada, a abordagem interativa foi geralmente bem recebida.

Os resultados apontaram para uma receptividade positiva às aulas interativas, indicando que a incorporação de recursos como PE pode ser uma estratégia eficaz para promover o engajamento e o aprendizado dos discentes em Química.

Essas respostas foram apoiadas por depoimentos específicos de alguns estudantes. Por exemplo, um discente, identificado como o discente X disse: “A técnica é muito divertida, facilitando o aprendizado”. Segundo o discente, a técnica utilizada foi altamente divertida e, ao mesmo tempo, facilitou o processo de aprendizado. Isso sugere que a abordagem adotada foi bem-sucedida em cativar e envolver os estudantes.

O destaque para a diversão indica que os estudantes estavam entusiasmados com a atividade e provavelmente se sentiram motivados a participar ativamente. Esse tipo de engajamento é fundamental para o aprendizado, pois estudantes motivados tendem a reter e compreender melhor as informações.

Já o discente identificado como Y, respondeu: “Acho que se nas minhas aulas de química eu tivesse aprendido de uma forma mais digital teria sido tudo mais fácil. Não sei se é porque eu já vi a matéria e senti uma facilidade, porque eu só relembrei, ou se realmente facilitou. Mas tudo que é mais voltado para nossa realidade expressa mais interesse nos discentes”.

A análise da resposta indica que o estudante percebe benefícios no método de ensino com PE em Química. Ao mencionar que aprender de forma digital teria sido mais fácil, o estudante sugere uma preferência por abordagens mais tecnológicas e interativas em comparação com métodos tradicionais. A referência à facilidade pode indicar uma maior afinidade com a aprendizagem digital, possivelmente devido ao seu contexto de aprendizado anterior ou à natureza intuitiva desses recursos.

A ambiguidade expressa na frase, “... Não sei se é porque eu já vi a matéria e senti uma facilidade, porque eu só relembrei, ou se realmente facilitou ...”, revela a reflexão do discente sobre a experiência de aprendizado digital. Ele considera a possibilidade de que a facilidade percebida seja devido a uma familiaridade prévia com o conteúdo, mas também pondera se a abordagem digital teve um papel significativo na facilitação do processo. O que cumpriu uma das funções do processo educacional de formar um indivíduo crítico sobre a realidade (Freire, 2014).

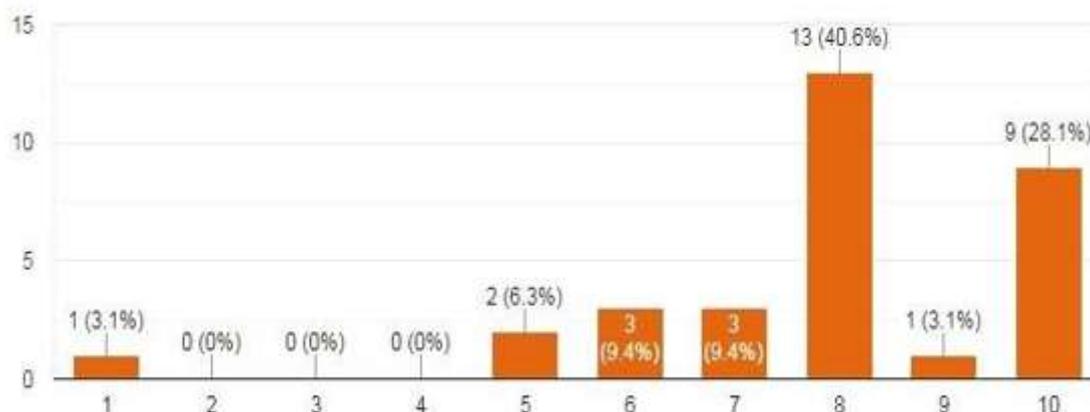


A última parte da resposta enfatiza a importância de abordagens mais alinhadas com a realidade dos estudantes, sugerindo que métodos que incorporam elementos do cotidiano dos estudantes podem despertar mais interesse. Isso destaca a relevância da contextualização e da aplicação prática na eficácia do ensino.

Em resumo, a resposta reflete uma inclinação positiva em relação à aprendizagem digital e destaca a importância de estratégias de ensino alinhadas com a realidade e interesses dos discentes.

O formulário enviado aos discentes também incluiu outra questão fundamental: "Qual sua avaliação do PE ACD/ChemSketch®?", com os estudantes tendo a opção de dar a nota de 0 a 10.

Gráfico 1- Notas atribuídas pelos estudantes ao desempenho do programa ACD/ChemSketch®.



Fonte: Autor

A avaliação dos estudantes sobre o programa ACD/ChemSketch® revela uma recepção bastante positiva em relação à ferramenta. O fato de nove discentes atribuírem a nota máxima, 10, sugere uma apreciação excepcional do programa. Esse resultado pode ser interpretado como um reflexo da eficácia percebida em facilitar o aprendizado e tornar as aulas mais dinâmicas e interativas.

As 13 avaliações com nota 8 indicam uma satisfação sólida, embora ligeiramente abaixo da pontuação máxima. Essas respostas podem refletir considerações específicas, como possíveis dificuldades iniciais na familiarização com o programa ou áreas em que os estudantes acreditam que o programa poderia ser aprimorado.

Além das avaliações mencionadas anteriormente, algumas notas intermediárias, como 5, 6 e 7, foram atribuídas pelos discentes ao programa. Essa diversidade de pontuações sugere uma gama de percepções individuais sobre prática.

As notas intermediárias podem refletir nuances na experiência dos discentes com o programa, abrangendo aspectos como facilidade de uso, funcionalidades específicas ou preferências individuais. Essa variedade de avaliações destaca a importância de considerar a diversidade de opiniões dos estudantes ao implementar ferramentas educacionais, buscando entender melhor os diferentes contextos e necessidades de aprendizado.

A única resposta com a nota 1 destoa significativamente das demais, sugerindo uma experiência particularmente negativa para esse discente específico. Seria interessante explorar mais a fundo as razões por trás dessa avaliação extremamente baixa para identificar possíveis pontos de melhoria ou compreender melhor as expectativas não atendidas.

Em geral, a análise das avaliações revela uma tendência positiva em relação ao PE ACD/ChemSketch®, destacando sua efetividade percebida na promoção do aprendizado de Química entre os estudantes participantes da pesquisa.

5. Considerações finais

O emprego do programa ACD/ChemSketch® revelou-se uma estratégia pedagógica eficaz para promover o entendimento das propriedades periódicas, com foco no raio atômico, no contexto do ensino médio. A utilização da ferramenta *Bond Length* proporcionou aos estudantes uma visualização concreta e comparativa das distâncias de ligação, enriquecendo sua compreensão sobre o tamanho relativo dos átomos.

A abordagem prática permitiu que os estudantes explorassem, de forma lúdica, as nuances do raio atômico, frequentemente desafiador para discentes do ensino médio. A comparação das distâncias de ligação entre átomos de hidrogênio e átomos "centrais" em diferentes moléculas contribuiu para uma assimilação mais sólida desse conceito fundamental da Química.

O *feedback* dos estudantes, expresso por meio do formulário *Google*, destaca a eficácia das aulas interativas com o ACD/ChemSketch®. Com 91,2% dos discentes afirmando que as aulas contribuíram significativamente para o aprendizado em Química, evidencia-se uma receptividade positiva à abordagem digital. A minoria de 8,8% que respondeu "talvez" sugere uma possível variabilidade nas preferências de aprendizado. Essas respostas refletem a relevância e aceitação do ACD/ChemSketch® como uma ferramenta educacional no ensino de Química.

A integração entre teoria e experimentação, mediada pelo ACD/ChemSketch®, ressaltou a importância de ferramentas digitais interativas no processo educacional. Essa experiência demonstrou que a utilização de recursos tecnológicos, devidamente incorporados às práticas pedagógicas, pode catalisar a compreensão de conceitos complexos, tornando o aprendizado mais envolvente e acessível para os estudantes.



No entanto, as limitações deste estudo destacam desafios significativos a serem superados. A falta de acesso a computadores nas escolas é um obstáculo que dificulta a aplicação prática do programa ACD/ChemSketch®. Além disso, a disponibilidade limitada de computadores com capacidade mínima para o download e execução do *software* também representa um desafio considerável. Outra barreira é a restrição de tempo nas aulas de química, o que pode impedir uma exploração mais aprofundada do conteúdo de raio atômico além do que é abordado nos livros didáticos.

Apesar dessas limitações, há diversas novas possibilidades de investigação que podem ser exploradas. Por exemplo, o programa oferece outras funcionalidades além daquelas exploradas neste estudo, como a determinação dos ângulos de ligação (*bond angle*) para entender a geometria molecular das moléculas. Introduzir essa abordagem experimental teórica poderia enriquecer ainda mais o ensino de química, proporcionando aos estudantes uma compreensão mais completa e prática dos conceitos abordados. Assim, embora enfrentemos desafios, há espaço para explorar e expandir o uso dessas ferramentas digitais no ensino de química, promovendo um aprendizado mais dinâmico e eficaz.

REFERÊNCIAS

BERNARDI, Solange Teresinha. Utilização de softwares educacionais nos processos de alfabetização, de ensino e aprendizagem com uma visão psicopedagógica. **Revista REI, Getúlio Vargas**, v. 5, n. 10, 2010. Acesso em: 21 de dez. 2023.

BETTIO, Raphãl Winckler de; MARTINS, Alejandro. Objetos de aprendizado: um novo modelo direcionado ao ensino a distância. **Universia Brasil**, 2004. Disponível em: <http://www.universia.com.br/materia/materia.jsp?id=5938>. Acesso em: 24 de out. 2023.

CARUSO, Francisco; OGURI, Vitor. A eterna busca do indivisível: do átomo filosófico aos quarks e léptons. **Química nova**, v. 20, p. 324-334, 1997. DOI [org/10.1590/S0100-40421997000300015](https://doi.org/10.1590/S0100-40421997000300015). Disponível em: <https://www.scielo.br/j/qn/a/gNWHRTtzvzFS7stHjSjjFsg/?lang=pt&format=html>. Acesso em: 08 de jan. 2024.

DIONIZIO, Thais Petizero. O uso de tecnologias da informação e comunicação como ferramenta educacional aliada ao ensino de Química. **EAD em Foco**, v. 9, n. 1, 2019. DOI [org/10.18264/eadf.v9i1.809](https://doi.org/10.18264/eadf.v9i1.809). Disponível em: <https://eademfoco.cecierj.edu.br/index.php/Revista/article/view/809>. Acesso em: 10 de jan. 2024.

FARIA, Marcus Vinícius Hungaro. **Desenvolvimento e aplicação de uma estratégia combinando ferramentas facilitadoras de ensino para o ensino de Química no Ensino Médio, incluindo métodos computacionais**



e arte de rua Madonnaro. 2019. 84 f. Dissertação (Mestrado Profissional em Química em Rede Nacional) - Instituto de Química, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, 2019. Disponível em: <https://rima.ufrrj.br/jspui/handle/20.500.14407/15730>. Acesso em: 20 de dez. 2023.

FARIA, Marcus Vinícius Hungaro; Pereira, Cynthia Cristina; Fortes, Marcelo Souza; Grion, Renan Figueira; Reis, Pâmela Rossi dos. **Ensino de geometria molecular por meio do uso de modelo físico e digital: uma prática do Clube de Química.** In: Mendonça, J. P. S. N.; DA Silva, M. A. M. (org.). **Práticas Pedagógicas: Abordagens e Metodologias Inovadoras.** Mato Grosso do Sul: Editora Inovar, 2024. cap 10, p. 154-173. Disponível em: <https://www.editorainovar.com.br/omp/index.php/inovar/catalog/book/1326>. Acesso em: 09 de maio. 2024.

FREIRE, Paulo. **Pedagogia da esperança: um reencontro com a pedagogia do oprimido.** Editora Paz e Terra, 2014. Acesso em: 09 de jan. 2024.

GALAGOVSKY, Lydia; DI GIACOMO, Maria Angélica; CASTELO, Verónica. Modelos vs. dibujos: el caso de la enseñanza de las fuerzas intermoleculares. **Revista electrónica de Enseñanza de las Ciencias**, v. 8, n. 1, p. 1-22, 2009. Acesso em: 07 de fev. 2024.

JUNIOR, David Pereira Faraum; CIRINO, Marcelo Maia. A utilização das tic no ensino de química durante a formação inicial. **Revista Debates em Ensino de Química**, v. 2, n. 2, p. 102-113, 2016. <https://www.journals.ufrpe.br/index.php/REDEQUIM/article/view/1319>. Acesso em: 10 de jan. 2024.

KAMPPFF, Adriana Justin Cerveira. Tecnologia da informática e comunicação na educação. **Curitiba: Iesde Brasil**, 2006.

LEAL, Geovane de Melo; DA SILVA, João Alves; DA SILVA, David; DAMACENA, Dihêgo Henrique Lima. As tics no ensino de química e suas contribuições na visão dos alunos. **Brazilian journal of development**, v. 6, n. 1, p. 3733-3741, 2020. Disponível em: <https://ojs.brazilianjournals.com.br/ojs/index.php/BRJD/article/view/6337>. Acesso em: 20 de fev. 2024.

MEDEIROS, Miguel de Araújo; Matos, Roberta Vilarino. Assessment of knowledge on chemical periodicity in a distance-learning general chemistry class. **Química Nova**, v. 36, p. 474-479, 2013. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/qn/a/xnwgghSswxM333LnWdLfyDQ/abstract/?lang=en>. Acesso em: 11 de jan. 2024.

RAUPP, Daniele; SERRANO, Agostino; MARTINS, Tales Leandro Costa. A evolução da química computacional e sua contribuição para a educação em



Química. **Revista Liberato**, v. 9, n. 12, p. 13-22, 2008. Disponível em: <https://revista.liberato.com.br/index.php/revista/article/view/123>. Acesso em: 15 de jan. 2024.

SOUZA, Karina Aparecida de Freitas Dias; CARDOSO, Arnaldo Alves. Aspectos macro e microscópicos do conceito de equilíbrio químico e de sua abordagem em sala de aula. **Química nova na escola**, v. 27, n. 1, p. 51-56, 2008.

TOLENTINO, Mario; ROCHA-FILHO, Romeu Chagas; CHAGAS, Aécio Pereira. Alguns aspectos históricos da classificação periódica dos elementos químicos. **Química nova**, v. 20, p. 103-117, 1997. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/qn/a/L8D86KrVsxnsRGGTFn4YY6j/>. Acesso em: 5 de jan. 2024.

VALENTE, José Armando; Almeida, Fernando José de. Informática na educação no Brasil: análise e contextualização histórica. **O computador na sociedade do conhecimento. Campinas: UNICAMP/NIED**, p. 1-13, 1999. Acesso em: 5 de jan. 2024.

Recebido em: 19 de janeiro de 2024.

Aceito em: 09 de maio de 2024.

Publicado em: 28 de junho de 2024.

