

# DESENVOLVIMENTO DE APLICATIVO DE REALIDADE AUMENTADA NOS MOLDES AUSUBELIANOS PARA O ENSINO DE ORBITAIS ATÔMICOS

*DEVELOPMENT OF AUSUBELIAN AUGMENTED REALITY APPLICATION FOR TEACHING ATOMIC ORBITALS*

Glaylton Batista de Almeida<sup>1</sup>, Luciana de Lima<sup>2</sup>

Recebido: abril/2023 - Aprovado: fevereiro/2025

**RESUMO:** O presente trabalho teve como objetivo desenvolver um *software* de Realidade Aumentada (RA) baseado na Teoria da Aprendizagem Significativa (TAS) para o ensino de Orbitais Atômicos. Para o desenvolvimento do produto foi utilizada a Metodologia Recursiva de Produção de *Software*, que tem como pressupostos pedagógicos a utilização dos conhecimentos prévios dos alunos, a forma pela qual o conteúdo é introduzido no processo educativo e a interpretação que é atribuída às respostas dos alunos durante a utilização do recurso. Ao finalizar a primeira versão do aplicativo, este foi testado por dois grupos de discentes dos cursos de Licenciatura em Química da Universidade Estadual do Ceará (UECE) e da Universidade Estadual Vale do Acaraú (UVA), totalizando 34 sujeitos que tiveram que responder posteriormente ao teste um questionário composto por 14 itens do tipo Likert. Dentre os principais resultados da pesquisa destacam-se que 94,11% dos usuários acreditam que o aplicativo ajuda a compreender o que são orbitais atômicos, e 85,3% compreendem que a RA facilita no processo de entendimento.

**PALAVRAS-CHAVE:** aplicativo, orbitais atômicos, Teoria da Aprendizagem Significativa.

**Abstract:** This work aimed to develop an Augmented Reality (AR) software based on the Theory of Meaningful Learning (TML) for teaching Atomic Orbitals. For the development of the product, the Recursive Software Production Methodology was used, which has as pedagogical assumptions the use of the students' prior knowledge, the way in which the content is introduced in the educational process and the interpretation that is attributed to the students' answers during the use of the resource. At the end of the first version of the application, it was tested by two groups of students from the Degree in Chemistry courses at the State University of Ceará (UECE) and the State University Vale do Acaraú (UVA) totaling 34 subjects who had to respond later to the test a questionnaire composed of 14 Likert-type items. Among the main results of the survey, 94.11% of users believe that the application helps to understand what atomic orbitals are, and 85.3% think that AR facilitates the understanding process.

**KEYWORDS:** application, atomic orbitals, Theory of Meaningful Learning.

- 1 <https://orcid.org/0000-0002-6110-3164> - Mestre em Tecnologia Educacional pela Universidade Federal do Ceará (UFC). Professor da Secretaria de Educação do Ceará (SEDUC-CE), Crateús, Ceará, Brasil. Avenida Professora Machadinha, 3449, Bairro Príncipe Imperial, 63708-825, Crateús, Ceará, Brasil. E-mail: [glaylton.almeida@prof.ce.gov.br](mailto:glaylton.almeida@prof.ce.gov.br)
- 2 <https://orcid.org/0000-0002-5838-8736> - Doutora em Educação pela Universidade Federal do Ceará (UFC). Professora DE associada da Universidade Federal do Ceará (UFC), Fortaleza, Ceará, Brasil. Av. Humberto Monte, s/n, Campus do Pici, 60455670, Fortaleza, Ceará, Brasil. E-mail: [luciana@virtual.ufc.br](mailto:luciana@virtual.ufc.br)





## Introdução

Vários teóricos relatam dificuldades apresentadas por alunos no que diz respeito ao entendimento do conceito de orbitais atômicos (TABER, 2004; TSARPARLIS; PAPAPHOTS, 2009; AUTSCHBACH, 2012; LIMA, 2018). Os problemas vão desde uma confusão com o termo “órbita”, oriundo de conceitos do modelo atômico proposto por Rutherford em 1911, conhecido pela analogia ao sistema solar, até uma falsa ideia de que orbitais são objetos reais.

Em análise do Exame Nacional de Desempenho dos Estudantes (ENADE) de 2017, aplicado nos cursos de Licenciatura em Química brasileiros, verificou-se um elevado déficit no que diz respeito ao êxito em questões que envolvem o entendimento dos orbitais. Em uma delas (Questão 9), abordava-se o assunto de hibridização de orbitais, e na outra (Questão 30), trabalhava-se a interpretação do conceito do Princípio da Incerteza de Heisenberg. De acordo com o relatório síntese de área de 2017, a questão 9 foi caracterizada pelos respondentes como “muito difícil”, enquanto a questão 30 foi considerada de nível “médio”, o que pôde ser comprovado ao analisar a porcentagem de acertos dos alunos nessas questões.

Taber (2004) destaca que um entrave no que diz respeito à aprendizagem deste tópico é que o mundo atômico parece estar totalmente distinto do mundo macroscópico, que é familiar ao aluno. Dessa forma, o que se tenta compreender não faz relações diretas com o cotidiano do aluno, não havendo uma bagagem de conhecimentos prévios que possam ser utilizados como pilares construtivos de aprendizagem. O autor também destaca que o tema em questão pode ser estudado tanto em Química quanto em Física de forma fragmentada, o que pode gerar perspectivas diferentes, resultando em possíveis problemas de aprendizagem.

Essas problemáticas vão ao encontro do que destaca Johnstone (2000) em seu trabalho *Teaching of Chemistry: Logical or Psychological?*, no qual elucida os componentes básicos para a compreensão de conceitos em química: o entendimento macroscópico, o submicroscópico e o representacional. Para o autor, uma das dificuldades está relacionada ao fato de o ensino dessa ciência priorizar dois desses componentes: o macroscópico, que está relacionado com os fenômenos observáveis, e o representacional, que é a linguagem própria da química, símbolos e equações, por exemplo, deixando de lado a compreensão submicroscópica, na qual se desenvolve a manipulação mental dos fenômenos abstratos.

Para Johnstone (2000), esses três componentes são considerados vértices de um triângulo, e nenhum deles deveria ser superior ao outro. Dessa forma, o entendimento de conceitos químicos deveria perpassar por esses três níveis: em uma reação química, por exemplo, visualizar a sua ocorrência (macro), compreender em escala molecular como a reação ocorre (submicroscópico) e conseguir representá-la por meio de uma equação química (representacional).

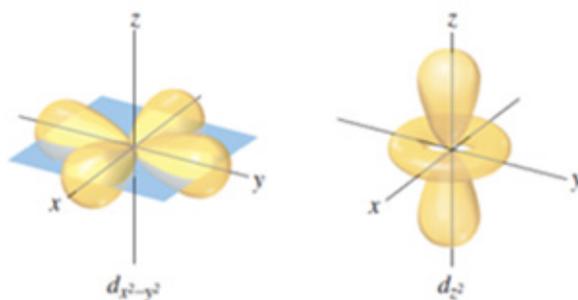
Lima (2018) destaca que uma problemática que envolve a aprendizagem de orbital atômico é o fato de o assunto possuir dois conceitos: um matemático e um físico-químico. A definição matemática considera o orbital como uma função de onda de um elétron, derivada da resolução da equação de Schrödinger, já o conceito físico-químico trata o orbital como uma região espacial de probabilidade de se



encontrar elétron(s) em torno do núcleo atômico (LIMA, 2018). Vale ressaltar que ambos os conceitos possuem o mesmo peso, e cabe ao professor e ao estudante de química se apropriar desse conhecimento e conseguir aplicá-lo.

Atkins, Jones e Laverman (2018) sugerem que, para escrever o formato de um orbital, é “necessário especificar a localização de cada ponto em torno de um núcleo e atribuir o valor de uma função de onda a este ponto” (ATKINS; JONES; LAVERMAN, 2018, p. 31). Essas localizações são chamadas de coordenadas polares esféricas. Porém, o elevado nível de abstração garante outra dificuldade para se compreender esse tópico, já que é necessário visualizar a densidade de probabilidade em três dimensões em torno do núcleo (Figura 1).

Figura 1 – Representação de superfícies limite de dois Orbitais Atômicos do tipo d



Fonte: Adaptado de Brown et al., 2016, p.245.

Trindade, Kirner e Fiolhais (2004), após realizarem uma análise de várias pesquisas com estudantes de nível médio e superior, concluíram que outro problema imposto por esse tópico é o fato de os livros didáticos trazerem modelos bidimensionais para representar formas tridimensionais, sendo necessário que o aluno possua uma certa capacidade de visualização espacial.

Para Allred e Bretz (2019), se os alunos interpretarem mal essas representações dos livros didáticos com base em seus conhecimentos prévios, terão dificuldades em compreender a estrutura eletrônica do átomo.

Dickmann *et al.* (2019), em um estudo buscando as relações entre a compreensão visual de modelos e o sucesso acadêmico em Química, destacam que a habilidade visuoespacial é um pré-requisito para a aprendizagem bem-sucedida nessa ciência, por ser um artifício mediador entre os conhecimentos prévios do aluno e o assunto a ser compreendido.

Gilbert, Reiner e Nakhleh (2008) conceituam a visualização como uma construção interna a partir de representações físicas, utilizada para o entendimento de um conceito abstrato, sendo bastante recorrente em Química para a compreensão de modelos já consolidados ou para aprender novos modelos.

Uma das formas citadas por muitos pesquisadores para reduzir o nível de abstração é o uso de tecnologias digitais, que, segundo Bacich, Tanzi Neto e Trevisani (2015), têm fundamental importância na aprendizagem, pois modificam o meio no qual estão inseridas e são capazes de personalizar a forma de ensino, tornando-o mais significativo.



Uma aplicação dessas tecnologias é a RA, que, segundo Queiroz, Oliveira e Rezende (2015), pode ser configurada como uma ferramenta de grande ajuda em sala de aula por sua capacidade de tornar os objetos de estudo mais concretos, por meio de simulações que suplementam o mundo real com objetos virtuais. Ainda de acordo com os autores, essa aproximação que a tecnologia digital propicia permite ao aluno desenvolver habilidades investigativas, capacidade de levantar hipóteses, formular explicações e relacioná-las com conceitos vinculados à disciplina estudada.

Em uma Revisão Sistemática da Literatura (RSL) realizada sobre a temática de RA e Realidade Virtual (RV), foi compreendido que essas tecnologias se apresentam como ferramentas com potencial para o ensino de conceitos abstratos, favorecendo a aprendizagem de ciências como a Química, que muitas vezes exigem do aluno uma capacidade de construção e manipulação de modelos mentais. Outro achado promissor é o de que a RA e a RV geram maior engajamento e participação dos discentes no processo de ensino-aprendizagem.

Em contrapartida, de acordo com Ausubel (2003), aprender de forma significativa é importante porque torna mais fácil para o aluno reter informações em sua estrutura cognitiva quando ancora um novo conhecimento a um conhecimento já existente. Dessa forma, quando o aluno identifica conexões entre as novas informações e as que já possui, encontra sentido e significado no que é estudado.

Ao pensar nos conhecimentos prévios importantes que os estudantes devem possuir para a compreensão do conceito de orbital, aponta-se o trabalho de Lima (2018), que destaca como relevante o entendimento de: “quantum de uma grandeza, natureza dual da matéria e da radiação, o átomo como estrutura, movimento eletrônico sem trajetórias determinadas, interpretação probabilística da função de onda e números quânticos.” (LIMA, 2018, p. 42).

De acordo com Tavares (2008), quando o aluno assimila novas informações de maneira literal, sem realizar associações com o que já possui em sua estrutura cognitiva, haverá apenas uma reprodução do que lhe foi repassado e sua aprendizagem será mecânica. “[...] uma aprendizagem significativa não acontece apenas a retenção da estrutura do conhecimento, mas se desenvolve a capacidade de transferir esse conhecimento para a sua possível utilização em um contexto diferente daquele em que ela se concretizou.” (TAVARES, 2008, p. 95).

Para Ausubel (2003), a aprendizagem significativa se torna eficaz pelas circunstâncias de sua não arbitrariedade e por seu caráter não literal. A primeira significa que a informação prévia do aprendente deve ser relevante para a integração com a nova informação, e a não literalidade refere-se ao fato de que a aprendizagem não depende especificamente da forma como foi ensinada, ao “pé da letra”.

Outro fator importante destacado pelo autor para que a aprendizagem se torne significativa é a predisposição do estudante pelo objeto de estudo, em que haja um esforço de sua parte em fazer relações das novas informações aos conhecimentos relevantes de sua estrutura cognitiva.

Pazicni e Flynn (2019) destacam que, dos três fatores necessários para que se construa uma aprendizagem significativa, dois deles são inerentes ao aluno: seus conhecimentos prévios e a sua propensão



em fazer conexões com esses conhecimentos. Restando ao professor somente uma única variável do processo: a maneira pela qual as novas informações são repassadas ou construídas.

Compreende-se que a utilização de novas metodologias de ensino, amparadas em teorias de aprendizagem e pelo uso das tecnologias digitais, como a RA, pode se configurar como uma importante forma de motivar e engajar os alunos no processo de aprendizagem.

Dessa forma, questiona-se de que maneira é possível integrar a RA em uma abordagem ausubeliana para o ensino de conceitos químicos, como o conceito de orbital atômico?

Em uma RSL desenvolvida, ao verificar se os trabalhos de RA e RV utilizavam teorias da aprendizagem em sua estrutura, apenas um dos produtos dizia se basear na TAS. No entanto, não é demonstrado de forma clara de que maneira essa associação foi realizada.

Em outra RSL realizada sobre o ensino de orbitais atômicos no período de 2015 a 2022, Almeida, Lima e Barros Filho (2023) constataram que os trabalhos realizados envolvendo essa temática não trazem relação com a teoria da aprendizagem significativa, o que pode estar relacionado com a dificuldade do aluno em conectar conhecimentos prévios ao conceito de orbital.

Diante do exposto, como produto final do trabalho, foi desenvolvido um recurso que abrange os três vértices do triângulo proposto por Johnstone, visto que será possível “visualizar” macroscopicamente um fenômeno submicroscópico (os orbitais) e também representá-los a partir da nomenclatura específica da química.

O objetivo deste trabalho é desenvolver um aplicativo de RA que proporcione uma aprendizagem significativa nos moldes ausubelianos, capaz de auxiliar na visualização espacial e no entendimento dos Orbitais Atômicos, podendo proporcionar uma aprendizagem significativa deste tópico, necessário para a compreensão da estrutura da matéria.

Para isso, aplicou-se a Metodologia Recursiva de Produção de Softwares, que requisita as etapas de planejamento, na qual é realizada a escolha dos conteúdos estruturantes do tema central, desenvolvimento e avaliação, que possuem como pressupostos basilares os Princípios Programáticos da Teoria da Aprendizagem Significativa (TAS) de Ausubel para a produção, implementação e avaliação das telas do software.

## Metodologia

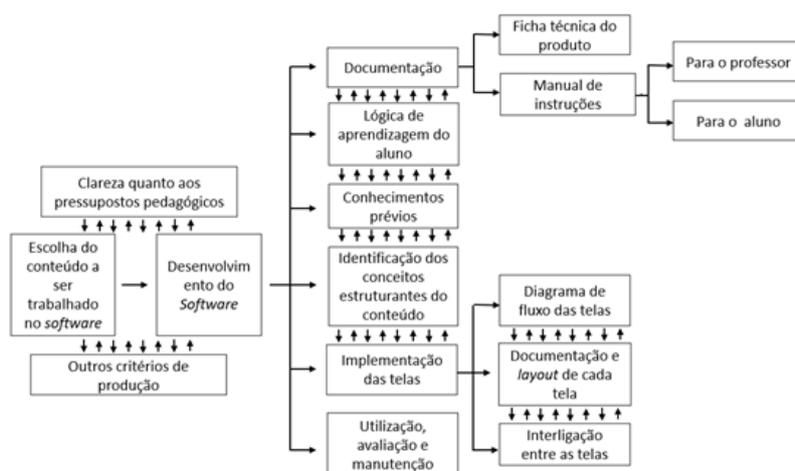
A metodologia escolhida para o desenvolvimento do *software* foi a Recursiva, proposta por Oliveira, Costa e Moreira (2001), que tem como base teórica concepções interacionistas e construtivistas do conhecimento. O processo de produção de *software* educativo, segundo essa proposta tem como pressupostos pedagógicos a utilização dos conhecimentos prévios dos alunos, a forma pela qual o conteúdo é introduzido no processo educativo e, por fim, a interpretação que é atribuída às respostas dos alunos durante a utilização do recurso. De acordo com os autores, a Metodologia Recursiva de Produção de *Softwares* desde seu planejamento, desenvolvimento e avaliação deve seguir as etapas descritas abaixo:



- 1- Escolha do conteúdo;
- 2 - Análise dos conhecimentos prévios dos alunos;
- 3 - Identificação dos conceitos estruturantes do conteúdo;
- 4 - Desenvolvimento do diagrama de fluxo do *software* educacional;
- 5 - Desenvolvimento das telas, *layout* e planejamento;
- 6 - Implementação das telas;
- 7 - Desenvolvimento da documentação do *software* educacional;
- 8 - Utilização, avaliação e manutenção do *software* educacional.

Nessa proposta metodológica, a avaliação é compreendida como um processo contínuo. Além disso, todas as atividades descritas anteriormente possuem uma relação entre si. Dessa forma, qualquer alteração que seja realizada em uma delas repercute no processo como um todo. Esse fenômeno é descrito a partir de um diagrama de fluxos (Figura 2).

Figura 2 - Diagrama de fluxos da Metodologia Recursiva de desenvolvimento de software



Fonte: Adaptado de Oliveira, Costa e Moreira, 2001.

A prototipação de alta fidelidade das telas iniciais é planejada no *figma*, ferramenta de prototipagem de *design*, e posteriormente sua produção definitiva é realizada com o *software Unity*, plataforma intuitiva de desenvolvimento de aplicativos e jogos que possui licença gratuita.

Para interligar as telas e o armazenamento de conteúdo, é necessário incluir elementos de programação. Para isso, com a ajuda de um programador, são desenvolvidos alguns scripts de transições, com a linguagem C# (*C Sharp*), utilizando o *Visual Studio Code*, um editor de códigos gratuito usado para operações de desenvolvimento. O código reconhece um comando; um acionamento de botão, por exemplo, desativará a tela atual e ativará a tela seguinte.

Após a conclusão do aplicativo, este foi testado por dois grupos de alunos dos cursos de Licenciatura em Química da UECE e da UVA, totalizando 34 sujeitos. Os participantes da amostra escolhida deveriam ter cursado as disciplinas de Química Geral I / Fundamentos de Química I, que têm como objetivo



introduzir conceitos da estrutura química e suas transformações, e que possuem em seu programa o estudo dos Orbitais Atômicos, tópico abordado neste estudo.

As aplicações ocorreram em dois momentos: o primeiro, com os sujeitos da UECE, ocorreu no dia 18/11/2022, de forma presencial no prédio da Faculdade de Educação de Crateús (FAEC), polo da UECE, e o segundo momento, com os sujeitos da UVA, aconteceu no dia 15/12/2022, de forma remota por meio do *Google Meet*. Dessa forma, o primeiro grupo respondeu ao questionário de forma impressa, e o segundo, via *Google Forms*. Os resultados foram tabulados no Excel e analisados em conjunto.

Os alunos foram convidados a utilizar o aplicativo ao longo de uma aula de cinquenta minutos, em que foram sujeitos a várias abordagens do conteúdo Orbitais Atômicos, visualizando representações em três dimensões, respondendo a questões e acessando informações e curiosidades sobre este assunto dentro do próprio *software*. Ao fim, foi solicitado que respondessem ao questionário de aprendizagem do tipo Likert (1932).

Este questionário, composto por quatorze itens, foi desenvolvido com afirmativas positivas e negativas intercaladas, ou com definições opostas, para evitar vieses e fazer com que os respondentes leiam cada declaração, demandando um esforço para pensar se concordam ou discordam com cada item (BROOKE, 2013).

## Resultados

O planejamento e *layout* de telas foram estruturados previamente no Figma (<https://www.figma.com>), um *site* que funciona como editor gráfico para prototipagem e *design* de projetos (Figura 3).

Figura 3 - Prototipagem das telas da diferenciação progressiva

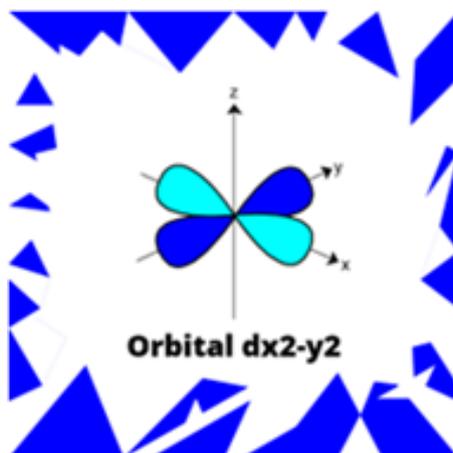


Fonte: Elaborado pelos autores, 2023.



Para o desenvolvimento deste *software*, foi necessário, inicialmente, a utilização do *Vuforia*, um kit de desenvolvimento que permite a implementação da RA a partir do reconhecimento de imagens planares ou objetos em 3D. No site *vuforia.com*, na aba de desenvolvedor, é feito o *upload* dos *targets* (Figuras 4), que são as imagens reconhecidas pelo *software* a partir da câmera do celular, devolvendo para a cena real os orbitais em Realidade Aumentada.

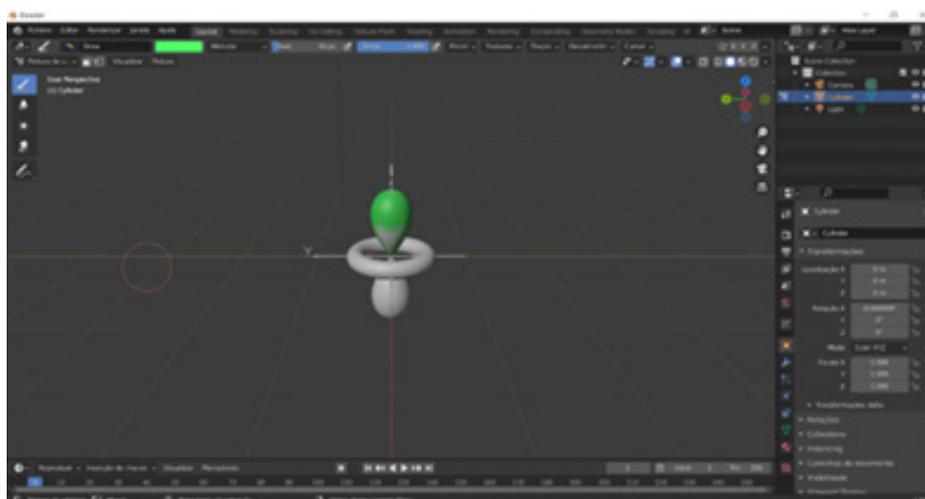
Figura 4 - Target de um orbital do tipo d para o reconhecimento do software



Fonte: Elaborado pelos autores, 2023.

Todos os orbitais foram arquitetados e texturizados utilizando a versão 2.93 do Blender, *software* de modelagem 3D de código aberto (Figura 5). Em seguida, os orbitais produzidos foram renderizados e exportados para o Unity (versão 2020.3.21f1), plataforma de desenvolvimento de jogos que possui licença gratuita para estudantes acima de 16 anos e pequenas empresas com receita anual de até 100 mil dólares.

Figura 5 - Modelagem do Orbital  $d_z^2$  no Blender



Fonte: Elaborado pelos autores, 2023.



Após o planejamento das telas e a modelagem dos orbitais, foi iniciada sua implementação dentro do *Unity*, copiando todo o layout e o sequenciamento previamente prototipado no *Figma* e importando os modelos dos orbitais renderizados do *Blender*.

Para a criação das telas, o *Unity* disponibiliza a opção “Canvas”, ferramenta que possibilita o desenvolvimento de elementos da interface do usuário. Dentro do Canvas, a partir da opção “UI”, criou-se um painel que foi ajustado para a resolução de um aparelho telefônico ou tablet: “*Width*” = 720 e “*Height*” = 1280.

Ainda dentro do Canvas, na opção ‘Button’, criaram-se os botões presentes nas telas, formatados com os textos, cores e acionamento de comandos.

A imagem com a logo do aplicativo foi adicionada ao *Unity* e, para que fosse fixada na tela do aplicativo, foi preciso clicar na opção “*Raw image*”. Em seguida, o tamanho foi ajustado e, na opção “*Texture*”, a imagem da logo foi copiada e adicionada ao *Unity* (Figura 6).

Figura 6 - Menu inicial do aplicativo desenvolvido no Unity



Fonte: Elaborado pelos autores, 2023.

Ao clicar no botão “INICIAR”, o usuário é direcionado para outra tela em que se trabalha com o tópico dos Orbitais a partir dos princípios programáticos da TAS. Inicialmente, apenas o botão “Conhecimentos Prévios” encontra-se habilitado, no qual o usuário deve responder a algumas perguntas relacionadas ao tópico. Somente ao concluir as “tarefas” dos conhecimentos prévios é que o botão seguinte (Organizadores Prévios) é habilitado (Figura 7).



Figura 7 - Botão “Conhecimentos Prévios”



Fonte: Elaborado pelos autores, 2023.

Ao clicar sobre o botão “Organizadores Prévios”, o aplicativo exibe um vídeo em que são apresentadas algumas curiosidades sobre o assunto, trazendo relações com conceitos previamente estudados no Ensino Médio, buscando evidenciar a sua presença nos avanços tecnológicos que fazem parte do cotidiano do aluno. Ao concluir a visualização do vídeo, o botão “Diferenciação Progressiva” é habilitado (Figura 8).

Figura 8 - Botão “Organizadores Prévios”

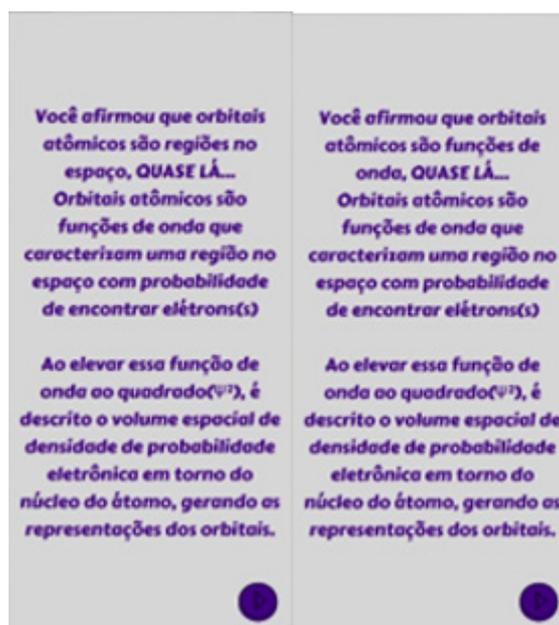


Fonte: Elaborado pelos autores, 2023.



No botão da “Diferenciação Progressiva” utiliza-se a resposta do usuário à pergunta feita na etapa dos conhecimentos prévios, “O que são Orbitais?”, as duas primeiras opções de resposta são consideradas incompletas, e caso o usuário tenha escolhido alguma delas, o aplicativo retorna uma explicação complementando a resposta do usuário de forma correta. Caso o usuário responda à pergunta escolhendo a terceira opção “as duas definições anteriores estão corretas”, o usuário é parabenizado, e o aplicativo reforça a resposta correta escolhida (Figura 9).

Figura 9 - Botão “Diferenciação Progressiva”



Fonte: Elaborado pelos autores, 2023.

Na sequência, o usuário é convidado a apontar a câmera do celular para as imagens gatilho dos orbitais para a visualização em RA. A partir do momento em que o usuário visualiza, no mínimo, três tipos de orbitais, um botão de avançar é liberado na tela, permitindo ao usuário retornar para o menu anterior, quando o botão “Reconciliação Integradora” é liberado (Figura 10).

Figura 10 - Orbitais em RA na “Diferenciação Progressiva”

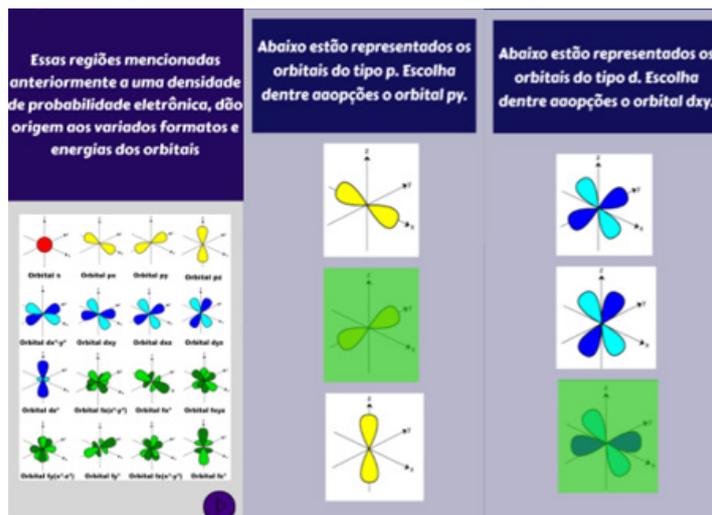


Fonte: Elaborado pelos autores, 2023.



Ao clicar no botão “Reconciliação Integradora”, o usuário é redirecionado a um questionamento quanto ao conceito de Orbital. Caso a resposta escolhida esteja errada, o botão ficará na cor vinho e não avançará para a próxima tela, a menos que a resposta correta seja acionada. Na tela subsequente, são demonstrados os tipos de orbitais:  $s$ ,  $p$ ,  $d$  e  $f$ ; e ao clicar no botão de avançar, o usuário retorna para o menu anterior, no qual a opção ‘Organização Sequencial’ encontra-se liberada (Figura 11).

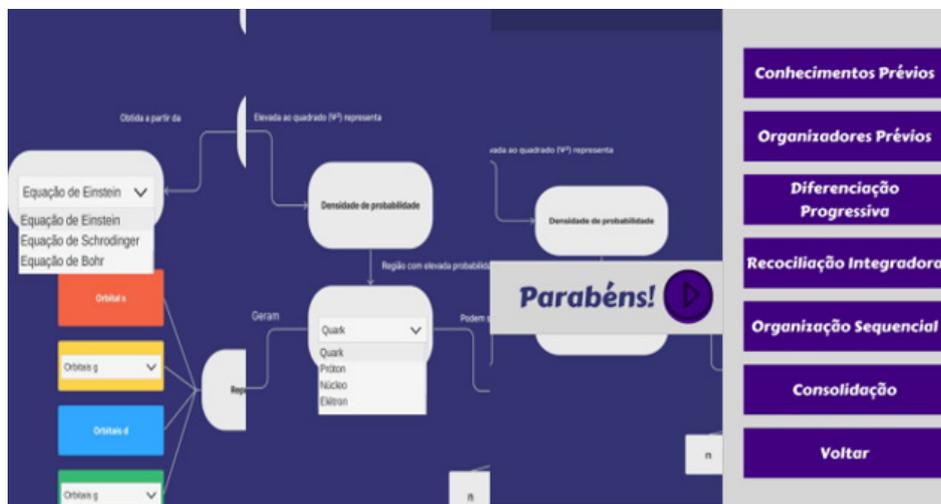
Figura 11 - Botão “Reconciliação Integradora”



Fonte: Elaborado pelos autores, 2023.

No botão “Organização Sequencial”, é apresentado um mapa conceitual em que o usuário pode navegar pela tela para visualizá-lo de forma integral. Este contém algumas lacunas a serem preenchidas, e o usuário navega pelas opções para escolher a resposta mais adequada para o preenchimento. Quando todos os espaços são preenchidos de forma correta, o usuário é parabenizado e pode avançar para a etapa seguinte, em que o botão “Consolidação” é ativado. Se pelo menos uma das respostas for incorreta, o usuário deve tentar outras respostas até encontrar a combinação específica que finaliza a tarefa (Figura 12).

Figura 12 - Botão “Organização Sequencial”

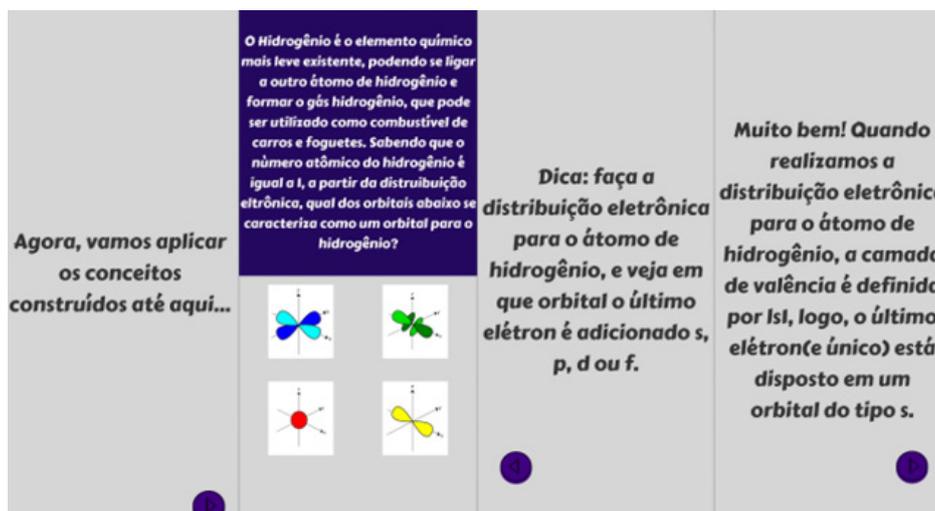


Fonte: Elaborado pelos autores, 2023.



Na “Consolidação”, o usuário é incentivado a aplicar os conceitos na resolução de questões. Uma delas envolve o gás hidrogênio, outra o flúor e, por fim, a forma geométrica do subnível  $s$ . Caso seja escolhida uma opção errada em qualquer uma das perguntas, o usuário é redirecionado para uma tela com uma dica para resolução e, em seguida, novamente à mesma pergunta. Em caso de escolha da opção correta, uma nova tela é apresentada, parabenizando o usuário e justificando a alternativa correta (Figura 13). Ao final da consolidação, concluem-se as etapas dos “Princípios Programáticos”, que podem ser acessados novamente a qualquer momento.

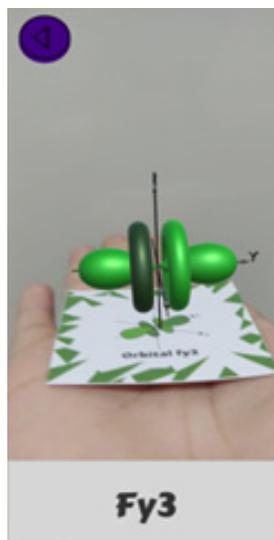
Figura 13 - Botão “Consolidação”



Fonte: Elaborado pelos autores, 2023.

No MENU inicial, ao clicar em “MODO LIVRE”, o usuário é direcionado para a tela de visualização dos orbitais em RA a partir da leitura dos *targets*, de forma direta, sem passar pelos Princípios Programáticos (Figura 14).

Figura 14 - Botão “MODO LIVRE”



Fonte: Elaborado pelos autores, 2023.



Ao clicar no botão “SOBRE”, o usuário é direcionado para uma página do *site* OrbiTAS, em que encontra informações técnicas e pedagógicas sobre o aplicativo. Enquanto o botão “BAIXAR TARGETS” leva o usuário a outra página do *site*, na qual é possível fazer o *download* dos targets, além de uma breve explicação de como utilizá-los. O botão “SAIR” fecha o aplicativo.

O aplicativo totalizou 28 telas, distribuídas entre o menu inicial com os botões “INICIAR”, “MODO LIVRE”, e suas respectivas telas subsequentes, os botões “BAIXAR TARGETS” e “SOBRE” direcionam o usuário para o *site* OrbiTAS, fora do aplicativo, o que não contabiliza para o quantitativo final de telas. Ao pressionar o botão iniciar, o usuário apresenta uma experiência completa no que diz respeito ao estudo dos orbitais atômicos em RA a partir dos princípios programáticos da TAS. Já na opção modo livre, o usuário visualiza os orbitais em RA de forma direta, sem passar por todo o processo anterior. Na opção baixar *targets*, o usuário faz o *download* de todos os *targets* para os orbitais *s*, *p*, *d* e *f*. A aba “sobre”, traz informações sobre o aplicativo, bem como sua ficha técnica e manuais de uso para aluno e professor.

Após a produção de todas as telas e implementação dos *Targets* e objetos em RA, foram desenvolvidos alguns *scripts* de programação dentro do próprio Unity para a realização do sequenciamento das telas. Por fim, foi utilizado o *Android Studio*, um *kit* de ferramentas de desenvolvimento, que possibilita a conclusão do projeto em formato compatível com dispositivos *Android*, nas versões 9.0 ou mais recentes.

Os resultados da coleta do questionário de aprendizagem estão dispostos na Tabela 1. Ao marcar o número 1, o usuário indica que discorda totalmente da afirmação e, ao marcar o número 5, afirma concordar totalmente com a afirmação.

Tabela 1 - Resultado do questionário de aprendizagem.

| Variável   | Escala Likert          |          |           |            |                        |
|--|------------------------|----------|-----------|------------|------------------------|
|  | 1. Discordo Totalmente | 2        | 3         | 4          | 5. Concordo Totalmente |
| 1. Eu acho que o aplicativo ajuda a compreender o que são orbitais atômicos.                                     | 0(0%)                  | 0(0%)    | 2(5,88%)  | 3(8,82%)   | 29(85,29%)             |
| 2. Eu acho que o aplicativo dificulta a compreensão dos orbitais atômicos.                                       | 29(85,29%)             | 3(8,82%) | 1(2,94%)  | 1(2,94%)   | 0(0%)                  |
| 3. Eu acho que o entendimento dos orbitais atômicos é facilitado pelo uso da realidade aumentada.                | 0(0%)                  | 1(2,94%) | 4(11,76%) | 7(20,59%)  | 22(64,71%)             |
| 4. Eu acho que a realidade aumentada atrapalha na compreensão dos orbitais atômicos.                             | 31(91,18%)             | 2(5,88%) | 0(0%)     | 1(2,94%)   | 0(0%)                  |
| 5. Eu compreendo orbital atômico como uma função de onda que descreve uma probabilidade de densidade eletrônica. | 0(0%)                  | 1(2,94%) | 3(8,82%)  | 10(29,41%) | 20(58,82%)             |



|  |            |          |           |            |            |
|--|------------|----------|-----------|------------|------------|
| 6. Eu compreendo orbital atômico como uma órbita que comporta elétrons.  | 2(5,88%)   | 1(2,94%) | 2(5,88%)  | 11(32,35%) | 18(52,94%) |
| 7. Eu compreendo que um orbital <i>s</i> possui formato esférico.  | 1(2,94%)   | 0(0%)    | 1(2,94%)  | 2(5,88%)   | 30(88,24%) |
| 8. Eu compreendo que um orbital <i>s</i> possui formato de haltere.  | 21(61,76%) | 3(8,82%) | 3(8,82%)  | 2(5,88%)   | 5(14,71%)  |
| 9. Eu compreendo que os orbitais <i>p</i> podem ser classificados em <i>p<sub>g</sub></i> , <i>p<sub>n</sub></i> e <i>p<sub>z</sub></i> .            | 22(64,71%) | 3(8,82%) | 3(8,82%)  | 2(5,88%)   | 4(11,76%)  |
| 10. Eu compreendo que os orbitais <i>p</i> podem ser classificados em <i>p<sub>x</sub></i> , <i>p<sub>y</sub></i> e <i>p<sub>z</sub></i> .           | 2(5,88%)   | 1(2,94%) | 4(11,76%) | 2(5,88%)   | 25(73,53%) |
| 11. Eu compreendo que o orbital <i>d<sub>xy</sub></i> é um orbital do tipo <i>d</i> .  | 1(2,94%)   | 0(0%)    | 3(8,82%)  | 2(5,88%)   | 28(82,35%) |
| 12. Eu compreendo que o orbital <i>d<sub>xy</sub></i> é um orbital do tipo <i>s</i> .  | 22(64,71%) | 3(8,82%) | 3(8,82%)  | 1(2,94%)   | 5(14,71%)  |
| 13. Eu compreendo que dentre os orbitais <i>s</i> , <i>p</i> , <i>d</i> e <i>f</i> ; os orbitais do tipo <i>f</i> são os que possuem mais variações. | 3(8,82%)   | 1(2,94%) | 4(11,76%) | 2(5,88%)   | 24(70,59%) |
| 14. Eu compreendo que dentre os orbitais <i>s</i> , <i>p</i> , <i>d</i> e <i>f</i> ; os orbitais do tipo <i>p</i> são os que possuem mais variações. | 20(58,82%) | 3(8,82%) | 5(14,71%) | 2(5,88%)   | 4(11,76%)  |

Fonte: Elaborado pelos autores, 2023.

Dos 34 participantes, 94,11% acreditam que o aplicativo ajuda a compreender o que são orbitais atômicos, e 85,3% compreendem que a RA facilita esse entendimento. Esta tecnologia, assim como a RV, são importantes recursos que podem auxiliar o professor de Química, engajando os estudantes e tornando as aulas mais dinâmicas, pois possuem a capacidade de reduzir a abstração de fenômenos e a manipulação de modelos espaciais (ALMEIDA, LIMA, BARROS FILHO, 2023).

Outro dado relevante é o de que 88,23% concordam assertivamente com a definição correta para orbital (afirmativa 5). No entanto, 85,29% concordam erroneamente com a afirmativa que trata o orbital como uma “órbita” onde estão localizados os elétrons, o que ocorre pelo fato de interpretarem as superfícies limites dos orbitais como regiões dotadas de elétrons. Esses usuários não conseguiram perceber a natureza probabilística dos orbitais e assumem uma perspectiva determinista, como nos modelos propostos anteriormente (LIMA, 2018).

Tsarpalis e Papaphots (2009) destacam que muitos alunos ainda não conseguiram perceber a natureza probabilística dos elétrons no modelo com orbitais e assumem uma compreensão determinista do movimento dos elétrons, assim como nos modelos anteriores propostos para o átomo. Os autores destacam que a palavra “orbital” é assumida como sinônimo de ‘órbita’, o que induz o aluno a considerar os elétrons girando em órbitas em torno do núcleo atômico.



Nas afirmativas conceituais sobre os tipos de orbitais (itens 7 ao 14), observou-se um bom desempenho dos participantes, com 94,12% de acertos no item 7, 70,58% no item 8, 73,53% nos itens 9 e 12, 79,41% no item 10, 88,23% no item 11 e 76,47% no item 13. A afirmativa 14, que trata sobre o número de variações dos orbitais, foi a que apresentou a menor pontuação (67,64%), com 17,64% dos sujeitos concordando equivocadamente com a afirmação e outros 14,71% marcando o centro da escala, indicando insegurança conceitual na compreensão da temática.

O item 12 trata-se de uma questão de nomenclatura, em que é preciso associar o nome ao tipo de orbital, já o item 8 trata-se da associação do termo com o formato do orbital. Essa dificuldade em compreender e rotular os tipos de orbitais ocorre em decorrência da nomenclatura parecer arbitrária quando não se entende que os termos estão relacionados aos tamanhos, geometrias e disposições dos orbitais (TABER, 2002).

Dessa forma, as afirmativas 13 e 14, que tratam sobre os orbitais do tipo *f*, também foram destacadas como itens com menor percentual de acertos, o que pode ser explicado pelo fato de muitos livros didáticos omitirem esses orbitais em suas discussões, justificando a ausência pelo nível de complexidade que esses orbitais apresentam, cessando as discussões nos orbitais do tipo *d*. Como exemplificado no livro *Química: a ciência central*: “As formas dos orbitais *f* são ainda mais complicadas que as dos orbitais *d*, e não serão apresentadas aqui” (BROWN *et al.*, 2016, p. 244).

Além das respostas do questionário de aprendizagem, alguns usuários escreveram no verso do questionário pontos como sugestões de melhorias, questionamentos e aspectos positivos, destacados nos Quadros 1 e 2.

Quadro 1 - Comentários a respeito do aplicativo, Instituição I (UECE)

| Identificador | Resposta do sujeito  |
|---------------|--|
| USER-F01      | “Acho que esse app deveria ser usado em sala de aula. Ótimo aplicativo.”   |
| USER-F03      | “Na minha concepção esse app deveria ser usado em salas de aula.”  |
| USER-F08      | “Sugestões: modo escuro / modo de acessibilidade (ex. leitura do texto) / configurações de som / Função “voltar” na aba de questões sobre orbitais / Ao clicar dar uma definição das abas.”  |
| USER-F11      | “Se eu precisar fechar o aplicativo, quando voltar ele estará no mesmo ponto de onde parei? / Quando usar o menu entrar em um ícone que eu já entrei, posso voltar ao menu sem precisar responder todas as questões?”  |
| USER-F15      | “O aplicativo futuramente poderia ter representações do movimento e comportamento dos átomos, dependendo da ligação atômica irá formar formas geométricas, o movimento dos elétrons na eletrosfera, tipo como esses átomos estariam no estado ambiente e como ele iria se comportar se fosse visto.” |

Fonte: Elaborado pelos autores, 2023.

As sugestões deixadas pelo usuário F08 são interessantes, como as configurações de som. Por exemplo, durante a aplicação, o sujeito F03 questionou que a música de fundo poderia ser retirada no momento em que há explicações de conteúdo dentro do aplicativo, enquanto outro usuário, F15, retrucou afirmando ter gostado do som e que este poderia auxiliar no momento de aprendizagem. Sendo assim, um botão que permita configurar os sons do app é necessário e será incluído na versão seguinte do aplicativo.



Uma definição prévia do que será apresentado em cada botão também é válida, apesar de todas essas explicações estarem presentes nos manuais localizados no botão “SOBRE”, no menu inicial do aplicativo.

O questionamento do usuário F12 é pertinente. Caso o aplicativo seja minimizado, é possível continuar o sequenciamento de onde parou. No entanto, ao fechar o app, os princípios programáticos serão reiniciados, começando novamente com o levantamento dos conhecimentos prévios. A ideia é que o sequenciamento seja feito de uma só vez, já que demanda poucos minutos e a conclusão de um princípio é necessária para o início do outro.

Quadro 2 - Comentários a respeito do aplicativo, Instituição II (UVA)

| Identificador | Resposta do sujeito   |
|---------------|---|
| USER-U02      | <i>“Em análise, o App se mostrou bastante interessante e sucinto, entrega as informações de maneiras que os alunos se ambientem no assunto antes de usar, tem um design simples e arrojado que se mostra bem intuitivo e visualmente confortável, a realidade aumentada precisa ser melhorada na questão da visualização de forma que possa ser rotacionado o objeto ao qual esteja sendo projetado.”</i> |
| USER-U03      | <i>“Gostei bastante do aplicativo, bastante esclarecedor.”</i>  |
| USER-U05      | <i>“Acredito que faltou uma explicação, sobre as ligações químicas. Pois as sobreposições dos orbitais atômicos, que forma os orbitais moleculares, mostraria ao aluno o modelo atual da ligação Química.”</i>  |
| USER-U07      | <i>“É um aplicativo de fácil manuseio, e com funções bem definidas. E cumpre o seu papel.”</i>  |
| USER-U10      | <i>“Muito bom app, bem didático e fácil de usar.”</i>   |
| USER-U12      | <i>“Eu adorei a facilidade de apresentação além de que a música e o texto em áudio facilita mais na concentração do assunto explicado.”</i>   |
| USER-U14      | <i>“O aplicativo é de grande serventia, gostei muito.”</i>  |
| USER-U15      | <i>“Gostei das perguntinhas sobre orbitais, como se fosse revisão de conteúdo, mas não entendi quando apareceu imagens de um gato, uma carinha e orbitais, fiquei confusa nessa parte.”</i>   |
| USER-U16      | <i>“O aplicativo é excelente, fácil de usar, gostei muito, além de aprender sobre a realidade aumentada, achei muito bom o uso das tgs.”</i>  |
| USER-U17      | <i>“Positivo: ajuda a lembrar para aqueles alunos que não se lembram mais do assunto negativos: desenvolver mais pergunta sobre o assunto, enriqueceria muito o app e o conhecimento.”</i>  |

Fonte: Elaborado pelos autores, 2023.

O usuário U02, em sua resposta, sugere uma “[...] forma que possa ser rotacionado o objeto ao qual esteja sendo projetado”, o que de fato seria uma melhoria interessante, pois talvez reduzisse ainda mais a abstração dos orbitais. A rotação ampliaria a visualização de todos os eixos de forma mais simples.

O usuário U05 demonstra conhecimento sobre orbitais, entendendo que a sobreposição de orbitais gera orbitais moleculares, funções de onda específicas associadas a moléculas (BROWN *et al.*, 2016), formadas pela combinação matemática de orbitais atômicos (McMURRY, 2014). A sugestão é bastante interessante, podendo gerar uma nova versão do aplicativo na qual a aproximação dos *targets* dos orbitais produza orbitais híbridos.



De acordo com Sommerville (2018), a evolução de um sistema pode ser um processo informal, a partir de sugestões de usuários em conversas com os desenvolvedores. Essas propostas de mudanças são a “força motriz” da evolução de um sistema. No entanto, o autor destaca que, antes de uma proposta de mudança ser aceita, é necessária uma análise do software para avaliar o que precisa ser alterado, permitindo uma análise do impacto causado pela mudança.

O questionamento do usuário U15 faz referência ao botão “Organizadores Prévios”, no qual é exibido um vídeo com curiosidades e informações sobre orbitais. Provavelmente, o usuário estava com o volume do aparelho desativado, o que impediu a compreensão das imagens apresentadas na tela, que estavam fora de contexto.

## Conclusão

A partir da Metodologia Recursiva de Produção de *Softwares*, os objetivos da pesquisa foram alcançados por meio do desenvolvimento e avaliação de um aplicativo para dispositivos *Android* tendo como pressupostos basilares os Princípios Programáticos da TAS de David Ausubel, implementado com elementos de RA, capaz de auxiliar na visualização espacial e no entendimento dos Orbitais Atômicos, podendo proporcionar uma aprendizagem significativa deste tópico, necessária para a compreensão da estrutura da matéria.

A pesquisa realizada indica que os discentes avaliaram positivamente o software, o considerando útil para o entendimento dos orbitais atômicos, além de considerarem que a proposta com RA facilita esse processo.

Quanto ao questionário de aprendizagem, 100% dos sujeitos da FAEC apontaram que o aplicativo ajuda a compreender o que são orbitais atômicos, enquanto na UVA, 88,24% dos sujeitos concordaram com essa afirmação, e outros 11,76% marcaram o centro da escala, de acordo com Brooke (1996), é recomendado que nenhuma afirmativa fique em branco, portanto se o usuário não se sentisse capaz de responder alguma das questões deveria marcar o número 3, centro da escala). No geral, 94,12% dos usuários afirmam que a compreensão do tópico é facilitada com o uso do *software*.

Em outra afirmativa, que aponta a RA como uma forma de facilitar a aprendizagem dos orbitais atômicos o resultado é similar, com todos os sujeitos do primeiro grupo concordando com a afirmação, enquanto no segundo grupo 5,88% discordaram da afirmativa, 23,53% se mostraram indiferentes, marcando o centro da escala e 70,59% concordaram, totalizando nas duas instituições 85,29% dos sujeitos compreendendo que o entendimento dos Orbitais Atômicos é facilitado pelo uso desta tecnologia.

Nas afirmativas conceituais sobre Orbitais Atômicos, 82,35% dos sujeitos da FAEC e 94,12% dos sujeitos da UVA concordaram com a afirmativa correta que considera Orbital Atômico como uma função de onda que descreve uma probabilidade de densidade eletrônica, o que corresponde a 88,24% da totalidade da amostra, com apenas 2,94% dos sujeitos discordando da afirmação e outros 8,82% inseguros quanto à resposta.



No entanto, na afirmativa seguinte “eu compreendo orbital atômico como uma órbita que comporta elétrons”, apenas 17,65% dos usuários da UVA discordaram da afirmação, enquanto que na FAEC 94,12% concordaram erroneamente com o item. Agrupando os dados coletados verificou-se que apenas 8,82% do total dos usuários discordaram da afirmação, e 85,29% concordaram com o item. Esses dados apontam um erro que os alunos comumente cometem, que é utilizar um pensamento mecanicista dos modelos atômicos anteriores para explicar o modelo atômico atual, não considerando o caráter probabilístico deste (TSAPARLIS; PAPAPHOTIS, 2009).

Por conseguinte, como essa afirmativa gerou o maior quantitativo de erros, faz-se necessário que na nova versão do aplicativo sejam incluídas situações que evidenciem esse entrave, destacando a mudança de paradigma sucedida pela ascensão do modelo mecânico-quântico em substituição aos modelos tradicionais.

Dos itens 7 ao 14, que tratavam de afirmações sobre os tipos de orbitais, observou-se um bom desempenho em ambos os grupos. No entanto, 35,29% dos usuários da FAEC erraram o item 12 (“Eu compreendo que o orbital  $d_{xy}$  é um orbital do tipo  $d$ ”). No grupo da UVA, o item com maior incidência de erros foi o item 13 (“Eu compreendo que dentre os orbitais  $s$ ,  $p$ ,  $d$ , e  $f$ , os orbitais  $f$  são os que possuem mais variações”), com 17,65% discordando da afirmação.

No geral, a maior porcentagem de erros ocorreu no item 8 (“Eu compreendo que um orbital  $s$  possui formato de haltere”), com 20,59% dos usuários concordando erroneamente com a afirmação. Contudo, a afirmativa 14 (“Eu compreendo que dentre os orbitais  $s$ ,  $p$ ,  $d$  e  $f$ , os orbitais do tipo  $p$  são os que possuem mais variações”) apresentou o menor percentual de acertos, com 67,64%, já que 14,71% dos usuários marcaram o centro da escala, indicando que não se sentem capazes de responder ao item, e 17,65% erraram a questão.

A interpretação desses resultados sugere que muitos desses erros podem ter ocorrido por descuido dos respondentes, uma vez que as afirmativas foram elaboradas de forma semelhante ao modelo do SUS proposto por Brooke (1996), no qual há uma correlação entre os itens, alternando afirmações positivas e negativas. No questionário de aprendizagem utilizado nesta pesquisa, as afirmações foram alternadas, sendo uma correta e a seguinte geralmente incorreta, ou vice-versa. Em outras palavras, o sujeito que apontou corretamente a afirmação 13 não deveria errar o item seguinte, que trata do mesmo assunto específico.

Por outro lado, essa oscilação nas respostas pode indicar que esses sujeitos ainda estão em processo de construção do conhecimento, e que esses conceitos não foram totalmente internalizados em suas estruturas cognitivas. Isso corrobora os achados de Tsaparlis e Papaphotis (2009), em uma revisão de literatura sobre dificuldades conceituais apresentadas pelos alunos, que apontam que até mesmo estudantes de disciplinas como Química Quântica enfrentam obstáculos em compreender o conceito de orbitais e reconhecer suas formas.



Nesse sentido, a próxima versão do *software* será elaborada com o objetivo de abordar essas inconsistências, incorporando informações e discussões adicionais sobre os tipos de orbitais, com elementos que possam ajudar a consolidar melhor esses conceitos na estrutura cognitiva dos usuários.

O *software* foi incluído na plataforma de serviço de distribuição digital do sistema operacional Android de conteúdos digitais da *Google Play Store*, podendo ser baixado gratuitamente. No site oficial do *software* (<https://sites.google.com/view/orbitas>) são dispostos links para *download* do aplicativo e dos *targets* para a visualização em RA, além de um guia de apoio pedagógico para o professor com sugestões didáticas, e um manual de instruções para alunos/usuários.

Como pretensões futuras espera-se testar esse recurso com grupos de estudantes do curso de Licenciatura em Química e submetê-lo a uma avaliação de usabilidade a partir do *System Usability Scale* (SUS), e na sequência, realizar ajustes e implementações com base nos resultados da pesquisa para o lançamento de uma nova versão.

## Referências

- ALLRED, Z. D. R.; BRETZ, S. L. University chemistry students' interpretations of multiple representations of the helium atom. **Chem. Educ. Res. Pract.**, v. 20, p. 358-368, 2019.
- ALMEIDA, G. B.; LIMA, L.; BARROS FILHO, E. M. Tecnologias para o ensino de orbitais atômicos: uma revisão sistemática da literatura. **Revista Educar Mais**, [s. l.], v. 7, p.313-324. 2023. DOI 10.15536/reducarmais.7.2023.3105. Disponível em: <https://periodicos.ifsul.edu.br/index.php/educarmais/article/view/3105>. Acesso em: 26 mar. 2023.
- ATKINS, P.; JONES, L.; LAVERMAN, L. **Princípios de Química: Questionando a vida moderna e o meio ambiente**. 7. ed. Porto Alegre: Bookman, 2018. 1094 p.
- AUSUBEL, D. P. **Aquisição e Retenção de Conhecimentos: Uma Perspectiva Cognitiva**. Lisboa: Plátano-Edições Técnicas, 2003. 219 p.
- AUTSCHBACH, J. Orbitals: some fiction and some facts. **Journal of Chemical Education**, v. 89, n. 8, p. 1032-1040, 2012.
- BACICH, L.; TANZI NETO, A. T.; TREVISANI, F. M. **Ensino Híbrido: personalização e tecnologia da educação**. Porto Alegre: Penso, 2015. 272p.
- BROOKE, J. SUS: A "Quick and Dirty" Usability Scale. In: Jordan, P. W. *et al.* (org.). **Usability Evaluation in Industry**. London: Taylor and Francis, 1996. cap. 21, p.189-194.
- BROOKE, J. SUS: A Retrospective. *Journal of Usability Studies*. v. 8, p. 29-40, 2013. Disponível em: <https://uxpajournal.org/sus-a-retrospective/>. Acesso em: 11 jan. 2023.
- BROWN, T.; LEMAY, E.; BURSTEN, B.; MURPHY, C.; WOODWARD, P. M.; STOLTZFUS, M.



**Química:** a ciência central. 13 ed. São Paulo: Pearson, 2016. 1188 p.

DICKMANN, T.; OPFERMANN, M.; DAMMANN E.; LANG, M.; RUMANN, S. What you see is what you learn? The role of visual model comprehension for academic success in chemistry. **Chem. Educ. Res. Pract.**, [s. l.], v.20, p. 804-820, jun. 2019. DOI 10.1039/C9RP00016J. Disponível em: <https://pubs.rsc.org/en/content/articlelanding/2019/RP/C9RP00016J>. Acesso em: 15 abr. 2022.

GILBERT, J. K.; REINER, M. NAKHLEH, M. **Visualization:** Theory and Practice in Science Education. Springer, Dordrecht, 326p, 2008. 333 p.

JOHNSTONE, A. Teaching of chemistry: logical or psychological? **Chemistry Education: Research and Practice in Europe**, v. 1, n. 1, p. 9-15, 2000.

LIKERT, R. **A technique for the measurement of attitudes.** Archives of Psychology, v. 22, n. 140, p. 1-55. jun. 1932

LIMA, M. M. **Orbital atômico:** aprendizagem e desenvolvimento do conceito por estudantes de química. 2018, 122p. Dissertação (Mestrado em Ensino, Filosofia e História das Ciências) - Instituto de Física, Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2018.

OLIVEIRA, C. C.; COSTA, J. W.; MOREIRA, M. **Ambientes informatizados de aprendizagem:** Produção e avaliação de software educativo. Campinas: Papirus, 2001. 144p.

PAZICNI, S.; FLYNN, A. B. System thinking in Chemistry education: Theoretical challenges and opportunities. **J. Chem. Educ.**, Madison, v.96, 12, p. 2752–2763. Out. 2019. DOI 10.1021/acs.jchemed.9b00416. Disponível em: <https://pubs.acs.org/doi/10.1021/acs.jchemed.9b00416>. Acesso em: 20 jan. 2022.

QUEIROZ, A. S.; OLIVEIRA, C. M.; REZENDE, F. S. Realidade Aumentada no Ensino da Química: Elaboração e Avaliação de um Novo Recurso Didático. **ReABTIC**, v. 1, n. 2, mar. 2015. DOI 10.5281/zenodo.59446. Disponível em: <https://revistas.setrem.com.br/index.php/reabtic/article/view/44>. Acesso em: 20 jan. 2022.

SOMMERVILLE, I. **Engenharia de software.** 10. Ed. São Paulo: Pearson, 2018, 756p.

TABER, K. S. Conceptualizing quanta: illuminating the ground state of student understanding of atomic orbitals. **Chemistry Education: Research and practice in Europe**, Cambridge, v. 3, n. 2, p. 145-158, maio, 2002. DOI 10.1039/B2RP90012B. Disponível em: <https://pubs.rsc.org/en/content/articlelanding/2002/rp/b2rp90012b>. Acesso em: 11 fev. 2023.

TABER, K. Learning quanta: barriers to stimulating transitions in student understanding of orbital ideas. **Science Education**, Cambridge, v. 89, n. 1, p. 94-116, nov. 2004. DOI 10.1002/sce.20038. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/sce.20038>. Acesso em: 20 abr. 2022.

TAVARES, R. Aprendizagem significativa e o ensino de ciência. **Ciências e Cognição**, Rio de Janeiro, v.13, n. 1, p. 94-100, mar. 2008. Disponível em: [http://pepsic.bvsalud.org/scielo.php?script=sci\\_](http://pepsic.bvsalud.org/scielo.php?script=sci_)



arttext&pid=S1806-58212008000100010. Acesso em: 09 abr. 2022.

TRINDADE, J.; KIRNER, C.; FIOLEAIS, C. Orbitário: Exploração de Orbitais Hidrogenóides com Realidade Aumentada. In PÉREZ, J. [*et al.*] ed. - Avances en Informática Educativa. Artículos seleccionados del VI Simposio Internacional de Informática Educativa. **Cáceres**: Grupo de Arquitectura de Computadores y Diseño Lógico, 2004. Disponível em: <http://hdl.handle.net/10316/12607>. Acesso em: 20 jan. 2022.

TSAPARLIS, G.; PAPAPHOTIS, G. High school students' conceptual difficulties and attempts at conceptual change: the case of basic quantum chemical concepts. **International Journal of Science Education**, v. 31, n. 7, p. 895-930, 2009. DOI 10.1080/09500690801891908. Disponível em: <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/09500690801891908>. Acesso em: 18 jan. 2022.