



STATERA: um serious game como ferramenta de auxílio para o ensino de equilíbrio químico

Matheus Brustolin, UTFPR, brustolin.2002@alunos.utfpr.edu.br, <https://orcid.org/0009-0002-2129-8419>

Jorge Aikes Junior, UTFPR, jorgeajunior@utfpr.edu.br, <https://orcid.org/0000-0001-6933-6168>

Resumo: A disciplina de Química, integrante da Base Nacional Comum Curricular, abrange uma ampla variedade de conceitos, alguns de difícil visualização e compreensão, como o Equilíbrio Químico. A assimilação desses conteúdos em sala de aula pode representar um desafio tanto para estudantes quanto para docentes. Nesse contexto, este trabalho teve como objetivo desenvolver e validar um Serious Game denominado Statera, voltado ao ensino de Equilíbrio Químico. O desenvolvimento foi orientado pelo Framework MDA, sendo precedido por uma pesquisa com docentes da área para identificar as principais demandas pedagógicas. O jogo foi implementado na engine Unity e estruturado em cinco salas progressivas, cada uma dedicada a um conceito específico. A validação envolveu três professores e nove estudantes de ensino superior, por meio de questionários baseados na escala Likert. Os resultados indicaram recepção positiva ao jogo como ferramenta auxiliar de ensino: todos os professores consideraram viável sua incorporação ao planejamento didático, e os estudantes atribuíram médias superiores a 4,0 em dimensões como diversão, clareza das instruções e contribuição para a compreensão do conteúdo. Conclui-se que o Statera se configura como um recurso complementar eficaz, com potencial para aumentar o engajamento dos estudantes e facilitar a compreensão de conceitos abstratos de Química.

Palavras-chave: serious game; equilíbrio químico; aprendizagem ativa; ensino de química; game design.

STATERA: a serious game as an auxiliary tool for teaching chemical equilibrium

Abstract: The Chemistry discipline, an integral part of the National Common Curricular Base, encompasses a wide variety of concepts, some of which are difficult to visualize and comprehend, such as Chemical Equilibrium. The assimilation of this content in the classroom can pose a challenge for both students and educators. In this context, this study aimed to develop and validate a Serious Game called Statera, designed for teaching Chemical Equilibrium. Its development was guided by the MDA Framework and preceded by research involving educators in the field to identify the main pedagogical demands. The game was implemented using the Unity engine and structured into five progressive rooms, each dedicated to a specific concept. Validation involved three professors and nine higher education students through questionnaires based on the Likert scale. The results indicated a positive reception of the game as an auxiliary teaching tool: all professors considered its incorporation into instructional planning feasible, and students assigned average scores above 4.0 in dimensions such as fun, clarity of instructions, and contribution to understanding the content. In conclusion, Statera constitutes an effective complementary resource with the potential to increase student engagement and facilitate the understanding of abstract Chemistry concepts.

Keywords: serious game; chemical equilibrium; active learning; chemistry teaching; game design.

1. Introdução

A disciplina de Química integra a Base Nacional Comum Curricular (BNCC) como componente obrigatório do ensino médio e está presente em diversos cursos de educação superior, o que reforça a importância de uma boa formação básica para o sucesso acadêmico e profissional em áreas ligadas às ciências naturais e aplicadas (BRASIL, 2018). Entre os conteúdos abordados na disciplina, o Equilíbrio Químico se destaca como um conceito difícil



de compreender, por conta do conceito de reações diretas e inversas ocorrendo ao mesmo tempo com velocidades iguais (FERNANDES, 2015). Estudos apontam que o equilíbrio químico é o conceito que gera maior número de equívocos conceituais entre os estudantes (SUPARMAN; ROHAETI; WENING, 2024), sendo um dos erros mais persistentes a crença de que as velocidades das reações direta e inversa não são iguais no estado de equilíbrio (HARZA; WIJI; MULYANI, 2021).

Essa dificuldade é amplificada pelo uso frequente de métodos tradicionais de ensino, com ênfase excessiva em cálculos e fórmulas, que limitam a compreensão da relevância prática dos conceitos e contribuem para a desmotivação e o abandono escolar (SANTOS et al., 2013). Nesse contexto, metodologias ativas e ferramentas pedagógicas alternativas ganham relevância como meios de tornar a aprendizagem mais acessível e significativa. Entre essas alternativas, os Serious Games (SG) se destacam como recursos capazes de combinar elementos lúdicos com objetivos educacionais, promovendo engajamento, raciocínio lógico e maior controle do estudante sobre seu próprio processo de aprendizagem (ZYDA, 2005; PUCPR DIGITAL, 2021). Conforme demonstrado por Zhang (2023), conceitos abstratos são particularmente beneficiados por abordagens baseadas em jogos, que permitem representações visuais e interativas inacessíveis por métodos convencionais.

Diante disso, este trabalho apresenta o Statera, um Serious Game desenvolvido para auxiliar o ensino de Equilíbrio Químico. O jogo foi implementado na engine Unity, orientado pelo Framework MDA (Mechanics, Dynamics, Aesthetics), e estruturado em cinco salas progressivas, cada uma dedicada a um conceito específico: reação reversível, equilíbrio químico, deslocamento por temperatura, deslocamento por pressão e a integração de todos os conceitos. O desenvolvimento foi precedido por uma pesquisa com docentes da área para identificar as principais demandas pedagógicas, e a validação foi conduzida com três professores e nove estudantes de ensino superior por meio de questionários baseados na escala Likert.

2. Referencial teórico

A química é a ciência que estuda a matéria, suas propriedades e as transformações que ela pode sofrer, sendo indispensável para o desenvolvimento científico e tecnológico em diversas áreas do conhecimento (CHANG; GOLDSBY, 2013). Entre os conteúdos da disciplina, o Equilíbrio Químico é alcançado quando as velocidades das reações direta e inversa se igualam, resultando em concentrações constantes de reagentes e produtos ao longo do tempo. Nesse estado dinâmico, embora as reações continuem ocorrendo em ambos os sentidos, não há variação perceptível nas concentrações das substâncias envolvidas (CHANG; GOLDSBY, 2013). A constante de equilíbrio K_c , proposta por Guldberg e Waage em 1864 a partir da lei da ação das massas, expressa a relação entre as concentrações molares de produtos e reagentes no equilíbrio e permite prever a direção do deslocamento do sistema. Valores de K_c muito superiores a 1 indicam predominância dos produtos no equilíbrio, enquanto valores muito inferiores a 1 indicam predominância dos reagentes (CHANG; GOLDSBY, 2013). O equilíbrio pode ainda ser deslocado por fatores externos como variações de temperatura e pressão, conceitos que, junto à reação reversível e ao equilíbrio dinâmico, constituem o escopo pedagógico do Statera e fundamentam a estrutura progressiva de suas cinco salas (CHANG; GOLDSBY, 2013).

No contexto educacional, Serious Games são definidos como aplicações computacionais que integram de forma consistente aspectos sérios — como ensino e aprendizagem — com elementos lúdicos característicos dos videogames (ALVAREZ; DJAOUTI, 2011). Essa combinação favorece o engajamento, o desenvolvimento do raciocínio lógico e a personalização do aprendizado de acordo com as necessidades do estudante (PUCPR DIGITAL, 2021). O Framework MDA (Mechanics, Dynamics, Aesthetics), proposto por

Hunicke, Leblanc e Zubek (2004), oferece uma estrutura teórica para o design de jogos organizada em três camadas: mecânicas, que definem as regras e ações disponíveis; dinâmicas, que emergem da interação entre as mecânicas durante o jogo; e estética, que corresponde às respostas emocionais provocadas no jogador. A adoção desse framework no desenvolvimento do Statera buscou garantir coerência entre as decisões de design e os objetivos educacionais propostos.

3. Materiais e Métodos

A implementação foi realizada na engine Unity sob licença Personal, utilizando a linguagem C# para o desenvolvimento da lógica do jogo. A escolha da Unity se justifica pelo seu amplo uso no desenvolvimento de Serious Games no contexto acadêmico, pelo baixo consumo de recursos computacionais em comparação a outras engines e pela disponibilidade de documentação e suporte da comunidade (COWAN; KAPRALOS, 2014; CIEKANOWSKA; GLIŃSKI; DZIEDZIC, 2021). O controle de versão foi gerenciado por meio do GitHub, e o ambiente de desenvolvimento integrado utilizado foi o Visual Studio Code, escolhido pela integração eficiente com Unity e C#.

A organização do projeto seguiu cinco etapas sequenciais, apresentadas na Figura 1: submissão e aprovação pelo Comitê de Ética em Pesquisa (CEP Medianeira, parecer n. 8.289.962); levantamento de requisitos pedagógicos junto a docentes da área; projeto, desenvolvimento e testes do jogo; avaliação de utilização por professores; e avaliação de usabilidade por alunos. A etapa de levantamento de requisitos foi conduzida por meio de questionário online aplicado a oito docentes de Química, com o objetivo de identificar as principais dificuldades dos estudantes no conteúdo e orientar as decisões de design do jogo.

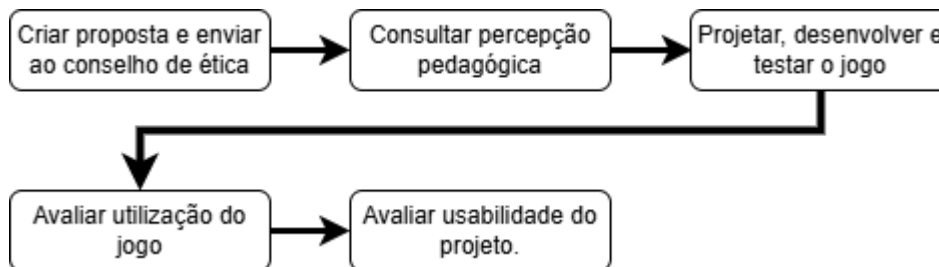


Figura 1 - Diagrama de etapas

A coleta de dados para validação foi realizada por meio de questionários estruturados, elaborados no Google Forms e baseados na escala Likert de cinco pontos, sendo aplicados separadamente a professores e alunos após a utilização do jogo. O questionário docente foi composto por nove perguntas, abrangendo dimensões como adequação pedagógica do conteúdo, clareza conceitual, usabilidade da interface e viabilidade de adoção em sala de aula. O questionário discente conteve quatorze perguntas, organizadas em três blocos: duas questões dicotômicas de perfil, nove questões em escala Likert avaliando usabilidade e aprendizagem, e três questões abertas para registro de percepções qualitativas. Ao todo, participaram da avaliação três professores e nove estudantes de ensino superior, com aplicação em ambiente de sala de aula.

4. Resultados

O design do jogo foi construído com base nas respostas obtidas pelo questionário de pesquisa aplicado aos docentes. As principais dificuldades dos alunos apontadas pelos professores foram a abstração dos conceitos, a interpretação de gráficos e a associação entre os

níveis macroscópico e simbólico das reações. Embora a dificuldade dos alunos com relação aos cálculos de constante de equilíbrio também tenha sido mencionada, optou-se pela não abordagem desse tópico, uma vez que sua incorporação desvirtuaria o foco do jogo na compreensão conceitual do Equilíbrio Químico em detrimento da resolução de exercícios matemáticos. Em relação ao dispositivo, o smartphone foi apontado pela maioria dos docentes como o de maior acessibilidade para os alunos, o que direcionou o desenvolvimento do jogo para a plataforma Android.

O Statera consiste em um simulador educacional em perspectiva de primeira pessoa, desenvolvido para dispositivos móveis, no qual o jogador controla um cientista responsável por investigar um laboratório recém-descoberto. A progressão ocorre por meio de um sistema de portas que se abrem conforme o jogador acumula quantidades específicas de moléculas, obtidas pela interação com máquinas distribuídas ao longo de cinco salas progressivas, conforme mostrado na Figura 2. A narrativa é conduzida pelo R.E.A. (Robô de Estudos Avançados), NPC encontrado pelo jogador logo na entrada do laboratório, conforme ilustrado na Figura 3, responsável por orientar o jogador e reforçar os conteúdos educacionais ao longo do jogo por meio de diálogos contextuais ativados por interações ou após a conclusão de objetivos específicos. O jogo tem como antagonista o S.I.A. (Sistema de Inteligência Artificial), introduzido na sala final.



Figura 2 - Mapa de progressão das salas do STATERA

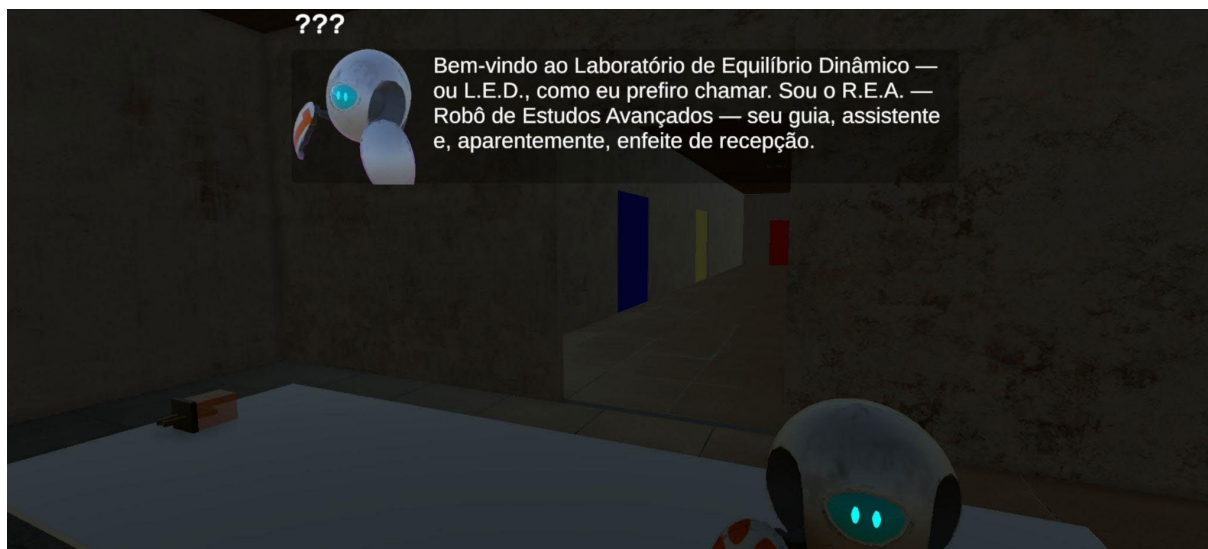


Figura 3 - R.E.A. em diálogo com o jogador na entrada do laboratório

As mecânicas compartilhadas por todas as salas incluem movimentação em ambiente 3D por joystick virtual, interação com objetos por aproximação, sistema de diálogos contextuais, inventário de moléculas coletáveis e lista de reações químicas disponíveis. Em todas as salas, as decisões de design foram orientadas para provocar as respostas estéticas de Descoberta e Desafio, conforme a taxonomia de Hunicke, Leblanc e Zubek (2004), conduzindo o jogador à compreensão progressiva dos conceitos de equilíbrio químico por meio da experiência lúdica.

A primeira sala tem como objetivo apresentar o conceito de reação reversível, com foco na direção direta da reação — a conversão completa de reagentes em produtos. A mecânica central é o conversor de moléculas, apresentado na Figura 4, uma máquina com dois slots de entrada que aceita apenas valores inteiros de mol. O jogador deve explorar o ambiente para coletar as moléculas disponíveis e consultar a lista de reações exibida pelo jogo para identificar combinações válidas. Ao iniciar a reação, a máquina converte integralmente os reagentes inseridos nos produtos correspondentes, exibindo visualmente os mols sendo expelidos. Caso o jogador opte por cancelar a operação, as moléculas inseridas são devolvidas, eliminando penalidades por tentativas malsucedidas.



Figura 4 - Conversor de Moléculas



A segunda sala tem como objetivo apresentar o conceito de equilíbrio químico por meio do S.E.Q. (Sintetizador de Equilíbrio Quântico), ilustrado na Figura 5, uma máquina com quatro slots de entrada que permite ao jogador inserir tanto reagentes quanto produtos. Diferentemente da sala anterior, ao inserir uma molécula, a totalidade da quantidade presente no inventário é automaticamente alocada na máquina. A interface disponibiliza sliders que permitem ajustar as concentrações de entrada antes de iniciar a reação, os quais atualizam em tempo real durante o processo, refletindo a variação das concentrações ao longo da reação. A máquina opera com constante de equilíbrio K_c igual a 1, de modo que as concentrações finais de reagentes e produtos variam conforme os valores inseridos pelo jogador e a reação selecionada. O jogador deve aguardar que a reação atinja o equilíbrio para que a retirada das moléculas seja liberada. Ao concluir os objetivos da sala, o R.E.A. tenta enviar as moléculas obtidas ao sistema, momento em que ocorre uma falha seguida de um apagão no laboratório, que reseta o inventário do jogador e introduz um elemento narrativo de suspense que motiva a progressão para as salas seguintes.

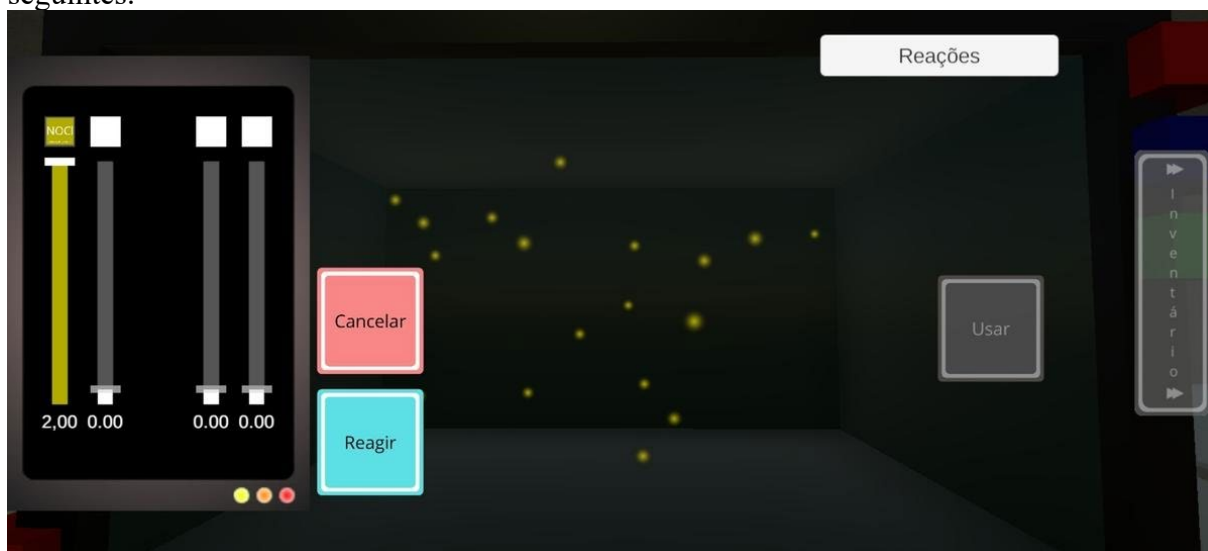


Figura 5 - Interface do Sintetizador de Equilíbrio Quântico

A terceira sala aborda o deslocamento de equilíbrio por variação de temperatura por meio do T.E.R.M.O. (Terminal Experimental de Reações Moleculares Otimizadas), exibido na Figura 6. Para utilizar a máquina, o jogador deve ter coletado os quatro chips de aquecimento distribuídos pelo laboratório, que são reutilizáveis e não consumidos pelo uso. A interface mostra sliders para visualizar as concentrações de entrada, sem permitir alteração direta por parte do jogador. A sala introduz a mecânica de inserção de chips durante a reação: cada chip inserido desloca incrementalmente o equilíbrio em direção à parte mais endotérmica, com a constante de equilíbrio K_c variando de acordo com a quantidade de chips utilizados. A lista de reações é atualizada com uma coluna adicional indicando a direção do deslocamento do equilíbrio para cada reação conforme o calor aplicado.

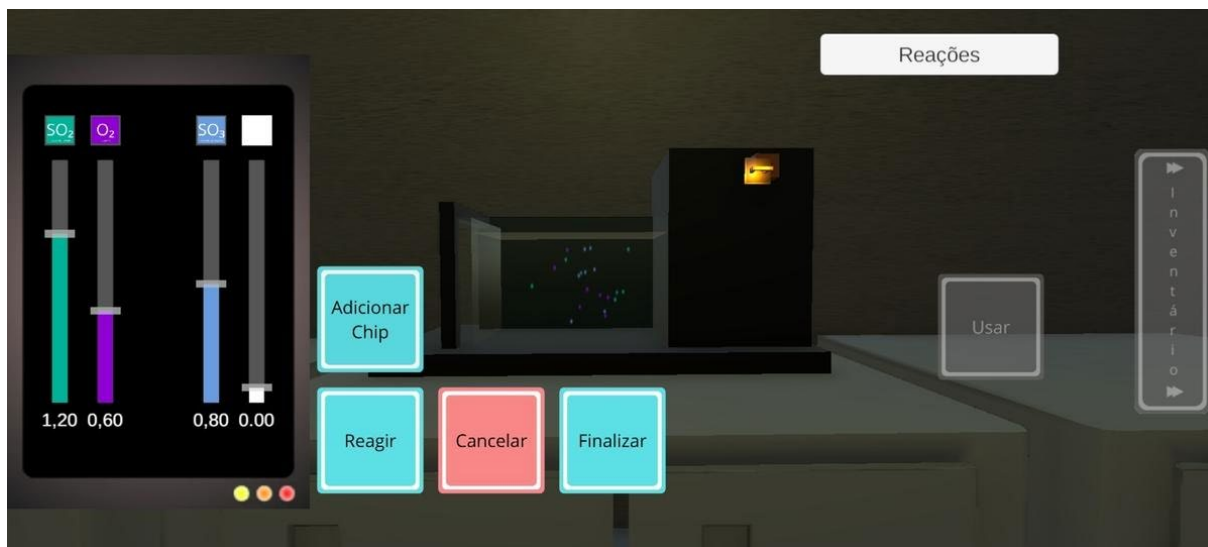


Figura 6 - T.E.R.M.O. com um chip de aquecimento inseridos durante a reação

A quarta sala trata do deslocamento de equilíbrio por variação de pressão por meio do P.R.E.S.S. (Processador de Reações por Equilíbrio Sob Compressão), apresentado na Figura 7. A sala introduz a mecânica de seleção do volume do recipiente de reação — entre 1, 2 e 3 litros — por meio de um controle deslizante superior na interface da máquina, sendo vedada a alteração do volume após o início da reação. A representação visual do recipiente na interface se adapta ao tamanho selecionado. A constante de equilíbrio K_c varia conforme o volume escolhido e a reação em questão, contemplando inclusive reações nas quais a variação de pressão não produz deslocamento do equilíbrio — distinção diretamente relacionada ao conceito de equilíbrio heterogêneo e homogêneo. A lista de reações é atualizada com uma coluna adicional indicando como a pressão atua sobre o equilíbrio em cada contexto.

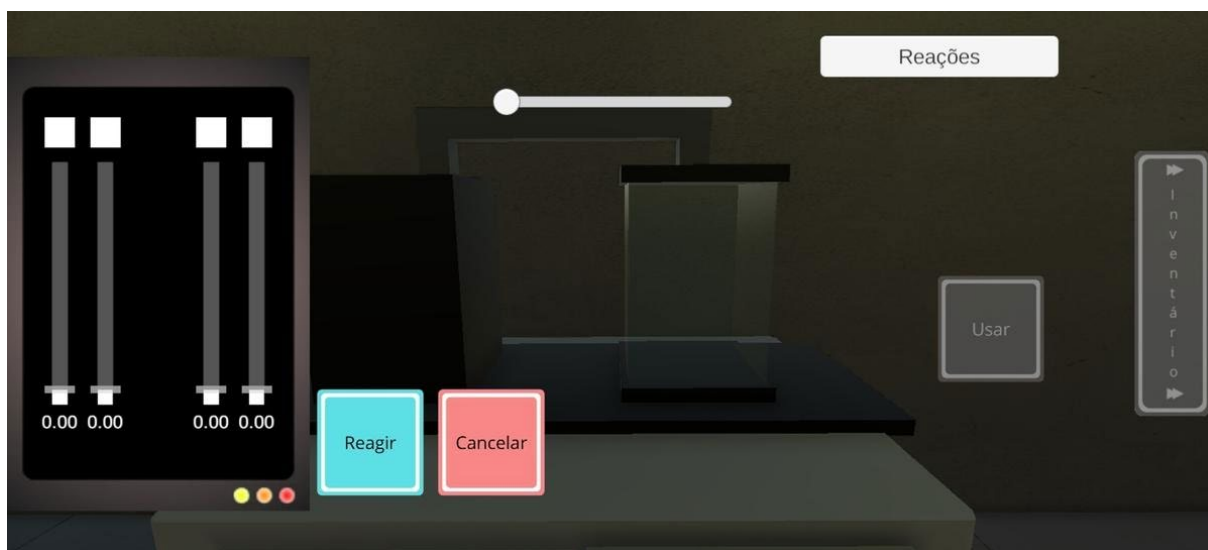


Figura 7 - Interface P.R.E.S.S.

A quinta sala integra todas as mecânicas introduzidas ao longo do jogo no Estabilizador Universal, apresentado na Figura 8. Ao adentrar a sala, o jogador se depara com o S.I.A. (Sistema de Inteligência Artificial), um agente hostil de aparência semelhante ao R.E.A., porém com visor e olhos avermelhados, que revela seu plano de destruir o laboratório e ativa um

protocolo de destruição: as luzes tornam-se vermelhas e moléculas passam a circular pelo ambiente na forma de partículas visuais, mostrado na Figura 9. A interface do Estabilizador Universal integra a seleção prévia do volume do recipiente — vedada após o início da reação — e a inserção de até quatro chips de aquecimento durante o processo, com a constante de equilíbrio K_c variando conforme ambos os parâmetros. O inventário do jogador é mantido da sala anterior, e o critério de progressão consiste em acumular a lista de moléculas exigida pelo sistema.

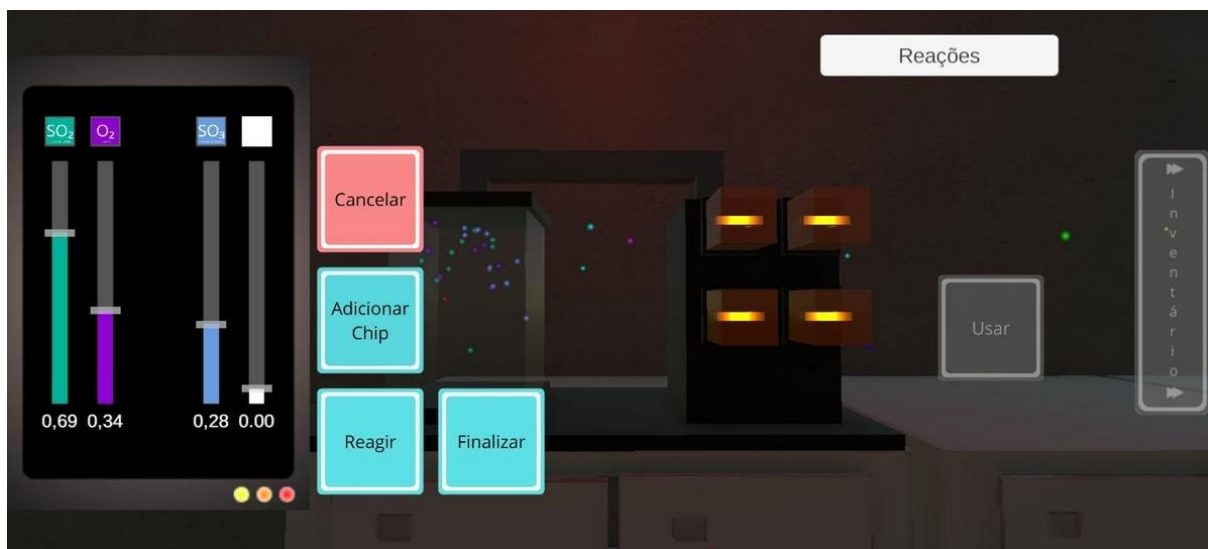


Figura 8 - Interface do Estabilizador Universal

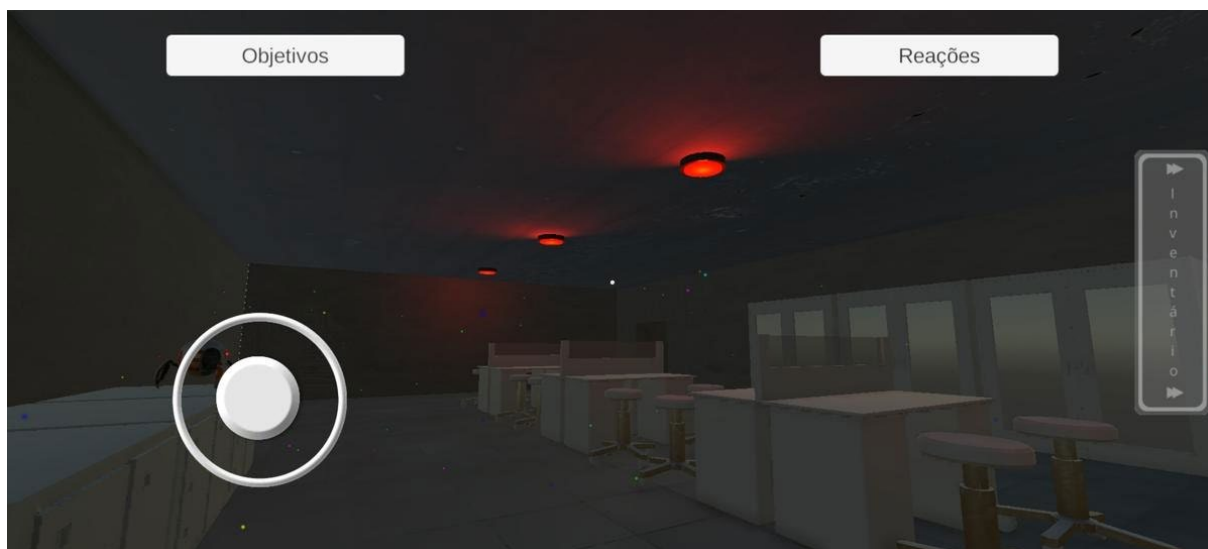


Figura 9 - Protocolo de destruição ativo

Após a utilização do jogo, os três professores responderam ao questionário de avaliação. Os resultados das dimensões mensuradas por escala Likert são apresentados na Tabela 1. O padrão de respostas foi consistente ao longo de todo o questionário: dois professores atribuíram avaliações positivas (notas 4 ou 5) e um avaliou negativamente (nota 1) em todas as dimensões, resultando em médias entre 3,00 e 3,67. Esse padrão sugere que as expectativas de um dos participantes — possivelmente relacionadas à profundidade do conteúdo ou à menor



familiaridade com jogos digitais — não foram atendidas de forma satisfatória pela versão avaliada.

Tabela 1 - Avaliação docente por dimensão (escala Likert 1–5)

Dimensão avaliada	P1	P2	P3	Média
Adequação pedagógica do conteúdo	4	4	1	3,00
Clareza dos conceitos apresentados	4	4	1	3,00
Usabilidade da interface	4	4	1	3,00
Adequação do tempo das atividades	5	5	1	3,67
Linguagem, estética e narrativa	5	3	2	3,33
Recomendação a outros professores	5	4	1	3,33

Em contrapartida, nas questões não mensuradas por escala Likert os resultados foram mais expressivos: todos os três professores consideraram viável incorporar o jogo ao planejamento didático, indicando reconhecimento do potencial pedagógico do SG independentemente das avaliações divergentes nas dimensões anteriores. Sobre a percepção de melhora no desempenho dos alunos, um professor respondeu afirmativamente e dois indicaram melhora parcial, sem respostas negativas. Dois professores observaram maior engajamento de alunos habitualmente menos participativos em atividades tradicionais.

Os nove estudantes de ensino superior responderam ao questionário de usabilidade após a utilização do jogo. O perfil da amostra mostrou-se heterogêneo quanto à afinidade com jogos educacionais: 88,9% já haviam utilizado jogos digitais como ferramenta de aprendizado, 66,7% declararam gostar de aprender por meio de jogos, 22,2% se mostraram indiferentes e 11,1% indicaram não gostar dessa modalidade, o que valoriza os resultados por incluir participantes com diferentes níveis de predisposição ao formato. Os resultados das dimensões avaliadas são consolidados na Tabela 2.

Tabela 2 - Avaliação discente por dimensão (n=9, escala Likert 1–5)

Dimensão avaliada	Média
Clareza da interface	3,89
Simplicidade dos controles	4,11
Clareza das instruções	4,00
Diversão	4,33



Retenção de atenção	4,11
Incentivo à melhoria e continuidade	3,78
Contribuição para compreensão do conteúdo	4,00
Percepção de aprendizado de algo novo	3,89
Preferência por jogos frente ao modelo tradicional	4,33

Todas as dimensões de usabilidade atingiram médias iguais ou superiores a 3,89, sem nenhuma avaliação negativa na clareza da interface. As dimensões lúdicas apresentaram resultados igualmente favoráveis, com destaque para diversão (4,33) e retenção de atenção (4,11). O incentivo à melhoria e continuidade obteve a menor média entre as dimensões avaliadas (3,78), com distribuição mais dispersa, indicando que os mecanismos de recompensa podem ser aprofundados em versões futuras. As dimensões de aprendizagem registraram médias de 4,00 e 3,89, sem nenhuma avaliação negativa na contribuição para a compreensão do conteúdo, evidenciando que a transposição dos conceitos abstratos de Química para dinâmicas práticas e visuais foi bem-sucedida em gerar aprendizado percebido.

As questões abertas permitiram identificar padrões qualitativos complementares aos dados quantitativos. Na pergunta sobre o aspecto mais apreciado no jogo, a representação visual e interativa dos conceitos químicos foi o tema mais recorrente, com participantes destacando positivamente a possibilidade de ver conceitos abstratos representados de forma prática, em contraste com a abordagem exclusivamente teórica e formal das aulas tradicionais. A estrutura em puzzles progressivos, a dinâmica das máquinas e o uso de objetos descritivos e chamativos também foram mencionados como pontos fortes, sugerindo que as escolhas de design orientadas pelas dimensões de Descoberta e Desafio do framework MDA foram percebidas de forma positiva pelos participantes.

Na pergunta sobre aspectos a melhorar, a clareza das instruções foi o tema mais recorrente, mencionado por quatro dos nove participantes, resultado coerente com as avaliações intermediárias observadas nessa dimensão na Tabela 2. Outros pontos levantados incluíram a sensibilidade do joystick, a iluminação das salas, a visibilidade dos objetivos durante a execução das reações, a presença de bugs na primeira execução do aplicativo e a ausência de um sistema de dicas. A recorrência de sugestões relacionadas à orientação do jogador reforça a necessidade de inclusão de um tutorial introdutório obrigatório e de sinalizações visuais mais explícitas em versões futuras do jogo.

Por fim, na pergunta sobre o interesse em ver outros conteúdos ensinados por meio de jogos semelhantes, a maioria dos participantes respondeu afirmativamente, com destaque para conteúdos de Química — como titulação, complexação, reações ácido-base e reações de oxidação — além de Biologia, Matemática e Física. Esse resultado indica que a experiência com o Statera gerou receptividade ao formato lúdico como abordagem pedagógica de forma mais ampla, apontando direções concretas para o desenvolvimento de novos ecossistemas educacionais baseados em jogos.

5. Conclusão

Este trabalho apresentou o Statera, um Serious Game desenvolvido como ferramenta auxiliar ao ensino de Equilíbrio Químico, concebido e implementado com base no Framework



MDA. O processo de desenvolvimento foi precedido por levantamento de requisitos junto a docentes da área, o que permitiu alinhar as decisões de design às principais demandas pedagógicas identificadas. O jogo foi estruturado em cinco salas progressivas, cada uma dedicada a um conceito específico do conteúdo, com mecânicas projetadas para gerar dinâmicas de exploração, observação, experimentação e síntese, conduzindo o jogador à compreensão gradual dos fenômenos de equilíbrio químico por meio da experiência lúdica.

Os resultados da avaliação indicam que o Statera cumpre satisfatoriamente os objetivos educacionais propostos. No âmbito docente, o reconhecimento unânime da viabilidade de incorporação do jogo ao planejamento didático — mesmo diante de avaliações divergentes em outras dimensões — evidencia o potencial do SG como recurso complementar ao ensino tradicional. No âmbito discente, as médias superiores a 4,0 nas dimensões de diversão, clareza das instruções, contribuição para a compreensão do conteúdo e preferência pelo aprendizado baseado em jogos corroboram a eficácia da abordagem adotada para engajar estudantes e facilitar a assimilação de conceitos abstratos de Química. A ausência de avaliações negativas na dimensão de compreensão do conteúdo é um indicativo relevante do valor didático do artefato.

Como limitações, destacam-se a incompatibilidade do aplicativo com dispositivos iOS, a curva de aprendizado inicial observada em participantes com menor familiaridade com jogos em primeira pessoa, e o número reduzido de participantes na avaliação docente, o que restringe o alcance das conclusões obtidas. Como desdobramentos futuros, sugere-se o refinamento das mecânicas e da interface com base no feedback coletado, a inclusão de tutorial introdutório obrigatório, a ampliação da amostra de validação e a portabilidade do sistema para outras plataformas, almejando maior acessibilidade, como WebGL e IOS. A possibilidade de desenvolvimento de ecossistemas lúdicos análogos voltados a outros conteúdos de Química e de disciplinas correlatas, indicada pelos próprios participantes, também se apresenta como direção promissora para trabalhos futuros.

Referências

- ALVAREZ, J.; DJAOUTI, D. An introduction to serious game: Definitions and concepts. In: PROCEEDINGS OF THE SERIOUS GAMES & SIMULATION WORKSHOP, 2011, Paris. Anais [...] Paris: [s.n.], 2011. p. 10–15.
- BRASIL. Ministério da Educação. Base Nacional Comum Curricular. 2018. Disponível em: https://www.gov.br/mec/pt-br/escola-em-tempo-integral/BNCC_EI_EF_110518_versaofinal.pdf. Acesso em: 03 nov. 2024.
- CHANG, R.; GOLDSBY, K. A. Química. 11. ed. Porto Alegre: AMGH, 2013.
- CIEKANOWSKA, A. M.; GLIŃSKI, A. K. K.; DZIEDZIC, K. Comparative analysis of Unity and Unreal Engine efficiency in creating virtual exhibitions of 3D scanned models. Journal of Computer Sciences Institute, v. 20, p. 247–253, 2021.
- COWAN, B.; KAPRALOS, B. A survey of frameworks and game engines for serious game development. In: IEEE FRONTIERS IN EDUCATION CONFERENCE, 14., 2014. Anais [...] [S.l.]: IEEE, 2014. p. 591–592.
- FERNANDES, R. F. Equilíbrio químico. Revista de Ciência Elementar, v. 3, n. 2, p. 034, 2015.
- HARZA, A. E. K. P.; WIJI, W.; MULYANI, S. Potency to overcome misconceptions by using multiple representations on the concept of chemical equilibrium. Journal of Physics: Conference Series, v. 1806, n. 1, p. 012197, 2021.



HUNICKE, R.; LEBLANC, M.; ZUBEK, R. MDA: a formal approach to game design and game research. In: AAAI WORKSHOP ON CHALLENGES IN GAME AI, 2004. Proceedings [...] [S.l.]: AAAI Press, 2004. p. 1–5.

PUCPR DIGITAL. O que é serious game, estratégia poderosa de gamificação. Blog Pós Digital, 2021. Disponível em: <https://posdigital.pucpr.br/blog/serious-game>. Acesso em: 14 abr. 2025.

SANTOS, A. O. et al. Dificuldades e motivações de aprendizagem em Química de alunos do ensino médio investigadas em ações do PIBID/UFS/Química. Scientia Plena, v. 9, n. 7, p. 077204, 2013.

SUPARMAN, A. R.; ROHAETI, E.; WENING, S. Student misconception in chemistry: a systematic literature review. Pegem Journal of Education and Instruction, v. 14, n. 2, p. 238–252, 2024.

ZHANG, E. Efficacy of game-based learning in the teaching of abstract concepts. 2023. Trabalho de conclusão (Wharton Research Scholars) — The Wharton School, University of Pennsylvania, Philadelphia, 2023. Disponível em: <https://repository.upenn.edu/server/api/core/bitstreams/72a6f7bc-3d48-42dd-a124-85a90f89ada7/content>. Acesso em: 02 mai. 2025.

ZYDA, M. From visual simulation to virtual reality to games. Computer, v. 38, n. 9, p. 25–32, 2005.