

UNIVERSIDADE FEDERAL DE ALFENAS

LEONARDO PESSOA OLIVEIRA ALVES

**APRIMORANDO A EXPERIÊNCIA DO SISTEMA DE MAPAS AUTOCATALÍTICOS
(SISMA): UMA VERSÃO ONLINE**

ALFENAS/MG

2025

LEONARDO PESSOA OLIVEIRA ALVES

**APRIMORANDO A EXPERIÊNCIA DO SISTEMA DE MAPAS AUTOCATALÍTICOS
(SISMA): UMA VERSÃO ONLINE**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado(a) como parte dos requisitos para obtenção do título de Bacharel em Ciência da Computação pela Universidade Federal de Alfenas.

Orientador: Prof. Dr. Luiz Eduardo da Silva

ALFENAS/MG

2025

Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal de Alfenas
Biblioteca Unidade Educacional Santa Clara

Alves, Leonardo Pessoa Oliveira.

Aprimorando a experiência do Sistema de Mapas Autocatalíticos (SISMA): uma versão online / Leonardo Pessoa Oliveira Alves. - Alfenas, MG, 2025.

24 f. : il. -

Orientador(a): Luiz Eduardo da Silva.

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Ciência da Computação) - Universidade Federal de Alfenas, Alfenas, MG, 2025.

Bibliografia.

1. SISMA. 2. JavaScript. 3. P5.js. 4. Mapas autocatalíticos. 5. Simulação.
I. Silva, Luiz Eduardo da, orient. II. Título.

LEONARDO PESSOA OLIVEIRA ALVES

**APRIMORANDO A EXPERIÊNCIA DO SISTEMA DE MAPAS AUTOCATALÍTICOS
(SISMA): UMA VERSÃO ONLINE**

O(A) Presidente da banca examinadora abaixo assina a aprovação do(a) Trabalho de Conclusão de Curso/Dissertação/Tese apresentado(a) como parte dos requisitos para obtenção do título de Bacharel em Ciência da Computação pela Universidade Federal de Alfenas.

Aprovada em: 05 de dezembro de 2025

Prof. Dr. Luiz Eduardo da Silva
Presidente da Banca Examinadora
Universidade Federal de Alfenas

Prof. Dr. Fellipe Guilherme Rey de Souza
Universidade Federal de Alfenas

Prof. Dr. José Mauricio Schneerdorf Ferreira da Silva
Universidade Federal de Alfenas

RESUMO

As aulas tradicionais, usando quadro e giz estão sendo melhoradas com o uso da tecnologia, proporcionando assim, um melhor aprendizado aos estudantes. Usando um sistema baseado na internet e um software apropriado, podemos fazer o uso de simulações interativas de fenômenos e processos numa sala de aula tradicional. As visualizações de algumas reações químicas, por exemplo, utilizando os recursos tradicionais, dificultam a apresentação desse assunto. A proposta foi aprimorar uma ferramenta de fácil utilização que pode auxiliar na exemplificação de reações vistas em aulas teóricas e livros. Essa ferramenta já existe, mas na versão *desktop* que necessita de algum conhecimento técnico para sua instalação e utilização, trazendo uma dificuldade a mais para o professor e até mesmo o aluno. A partir do SISMA, desenvolvido na linguagem Java, foi realizado um estudo do código e assim uma reimplementação para a linguagem *JavaScript*, possibilitando o seu uso utilizando apenas um computador com acesso a internet. Como resultado, obteve-se uma versão web moderna do SISMA, preservando as funcionalidades da versão original, mais acessível e simples de usar, eliminando a necessidade de instalação e ampliando seu uso em ambientes educacionais.

Palavras-chave: SISMA; *javascript*; *p5.js*; mapas autocatáliticos; simulação.

ABSTRACT

Traditional classes, using chalk and blackboard, have been improved with the use of technology, thus providing better learning conditions for students. By using an internet-based system and appropriate software, it is possible to employ interactive simulations of phenomena and processes within a traditional classroom environment. The visualization of certain chemical reactions, for example, using traditional resources, makes the presentation of this subject more difficult. The proposal of this work was to improve an easy-to-use tool that can assist in the exemplification of reactions addressed in theoretical classes and textbooks. This tool already exists, but in a *desktop* version that requires technical knowledge for its installation and use, creating an additional difficulty for both teachers and students. Based on SISMA, originally developed in the Java programming language, a study of the code was carried out, followed by its reimplementation in *JavaScript*, enabling its use with only a computer and internet access. As a result, a modern web-based version of SISMA was obtained, preserving the functionalities of the original version, being more accessible and easier to use, eliminating the need for installation and expanding its use in educational environments.

Keywords: SISMA; JavaScript; p5.js; autocatalytic maps; simulation

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1 – Interface da versão original do SISMA em Java (Swing), com barra de ícones clássicos e área de edição baseada em componentes da biblioteca Swing. 9
- Figura 2 – Tela inicial do SismaWeb com o canvas de criação de mapas metabólicos à esquerda, painel de gráficos à direita e barra de ferramentas superior..... 13
- Figura 3 – Execução de uma simulação envolvendo dois compostos (“Presa” e “Predador”), com visualização gráfica da evolução temporal dos valores associados. . 15
- Figura 4 – Barra de ferramentas do SismaWeb com comandos de criação, edição, manipulação e controle da simulação. 16
- Figura 5 – Menu de propriedades do composto “Presa”, permitindo edição de cor, nome, valor associado e visualização das vias conectadas. 17
- Figura 6 – Menu de propriedades de uma via metabólica, exibindo os compostos conectados e permitindo a seleção ou edição de fórmulas matemáticas que definem o fluxo entre eles. 18

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	6
2	SISMA	8
3	TRABALHOS RELACIONADOS	10
4	METODOLOGIA	11
4.1	ESCOLHA DAS TECNOLOGIAS	11
4.2	IMPLEMENTAÇÃO	11
4.3	VISUALIZAÇÃO DOS RESULTADOS	12
5	RESULTADOS ALCANÇADOS	13
5.1	REIMPLEMENTAÇÃO DA INTERFACE INTERATIVA	13
5.2	SIMULAÇÃO	14
5.3	INTERPRETAÇÃO DE FÓRMULAS E VALIDAÇÃO DE ERROS	14
5.4	VISUALIZAÇÃO DE DADOS	14
5.5	PERSISTÊNCIA DE DADOS	14
6	DISCUSSÃO DOS RESULTADOS E AVALIAÇÃO HEURÍSTICA DE USABILIDADE	16
7	CONCLUSÃO	20
	REFERÊNCIAS	21

1 INTRODUÇÃO

A literacia visual pode ser entendida como a capacidade de um aprendiz em compreender, criticar e criar representações simbólicas, tais como imagens, gráficos, tabelas, desenhos, fluxogramas e diagramas (Stokes, 2002). Contudo, seu conceito tem sido trabalhado para incluir tecnologias do século XXI, tais como apresentações digitais, visualização de dados, *big data*, *blogs*, *streaming* de vídeos, infográficos, *dashboards* (painéis interativos), e assistente de IA generativa (imagens e vídeos) (Thompson *et al.*, 2022). Ainda que essas tecnologias venham impactando progressivamente o cotidiano e a automação de ações humanas, prevalecem os alvos da literacia visual, as imagens, estáticas ou não.

Quando voltada a processos educacionais, esse letramento visual requer uma abstração do aprendiz para a compreensão de símbolos (estruturas químicas), gráficos, tabelas, desenhos (*cartoon* em estruturas moleculares), imagens realísticas (gel de eletroforese), esquemas, fluxogramas, e diagramas (ciclos de elementos químicos) (Offerdahl; Arneson; Byrne, 2017). Tangente aos últimos, enquanto fluxogramas são intencionalmente elaborados para um letramento visual direcionado, contendo início, meio e fim, representações por diagramas fornecem pouca ou nenhuma orientação ao aprendiz (McTigue; Flowers, 2011). Um exemplo desse tipo de representação constitui a infinidade de diagramas pertinentes ao metabolismo celular e ao mapeamento de genes, tais como ilustrados no banco de dados da KEGG GENES (KEGG, 2025), no mapa de reações metabólicas da *big pharma* Roche, e numa simples busca na rede mundial com o termo *metabolic map*.

No contexto do ensino tradicional, as aulas baseadas no uso de quadro e giz vem sendo aprimoradas pelo uso de tecnologias digitais, que proporcionam maior interatividade e potencializam o aprendizado. Contudo, a visualização de processos complexos, como reações químicas e transformações de objetos em diagramas, ainda enfrenta limitações quando são utilizados apenas recursos estáticos. Nota-se uma carência de ferramentas que auxiliem professores e alunos na compreensão dinâmica dessas transformações, a partir de leis naturais e relações matemáticas. As soluções atualmente disponíveis restringem-se, em sua maioria, a visualizações estáticas ou animações desprovidas de regras matemáticas.

Diante desse cenário, este trabalho propõe o desenvolvimento de uma ferramenta de fácil utilização que permita simulações visuais e quantitativas em uma tela bidimensional. O sistema possibilita a percepção das transformações de objetos por meio de variações de cores, baseadas em equações introduzidas pelo usuário. Essa ferramenta já foi desenvolvida em uma

versão *desktop*, na linguagem JAVA, o software SISMA, que para sua instalação e utilização, exige conhecimentos técnicos que dificultam sua utilização em sala de aula.

A proposta deste trabalho foi promover a evolução do software SISMA para uma versão *web*, implementada em JavaScript utilizando a biblioteca p5.js. A evolução busca eliminar a necessidade de instalação local, permitindo o uso direto em navegadores com acesso à internet, tornando o sistema mais acessível a professores e estudantes. Dessa forma, buscamos aliar o potencial da literacia visual à interatividade tecnológica, ampliando as possibilidades de ensino e aprendizagem em diferentes áreas das ciências.

A ferramenta *web* conta ainda com a facilidade de importação como objeto educacional em ambientes virtuais de aprendizagem, de modo que o mapa construído (SCORM, html5 e javascript) possa ser utilizado nos mais diversos sistemas operacionais (linux, windows, ios) e nos mais diversos dispositivos (computadores, tablets, smartphones).

2 SISMA

O SISMA (Sistema de Mapas Autocatalíticos) foi desenvolvido originalmente na Universidade Federal de Alfenas (UNIFAL-MG) com o objetivo de auxiliar o processo de ensino-aprendizagem em Bioquímica, especialmente na compreensão dos mapas metabólicos e das transformações químicas envolvidas nas reações celulares.

O ensino tradicional dessa disciplina frequentemente apresenta dificuldades, pois envolve conceitos abstratos e fenômenos microscópicos de difícil compreensão. O SISMA surgiu como uma ferramenta educacional capaz de simular dinamicamente essas transformações e representá-las graficamente, permitindo que os estudantes acompanhem visualmente a conversão de reagentes em produtos, favorecendo uma aprendizagem mais significativa e intuitiva.

A aplicação foi desenvolvida em Java, linguagem escolhida pelo seu suporte multiplataforma, podendo ser executada em sistemas Windows e Linux. O software foi distribuído como um pacote JAR (Java ARchive).

A interface gráfica foi construída utilizando o *framework Swing*, que possibilitou a criação de uma interface amigável e interativa. O usuário pode inserir objetos representando biomoléculas, conectar esses objetos por meio de setas que simbolizam fluxos metabólicos e ajustar propriedades como nome, cor e intensidade relativa. Cada mapa criado podia ser salvo e posteriormente reaberto para edição ou simulação.

Do ponto de vista técnico, o SISMA foi estruturado conforme os princípios do Domain-Driven Design (DDD), conforme proposto por Evans (2004), organizando o código em camadas, sendo elas, apresentação, domínio, aplicação e infraestrutura, o que garantiu modularidade e facilidade de manutenção.

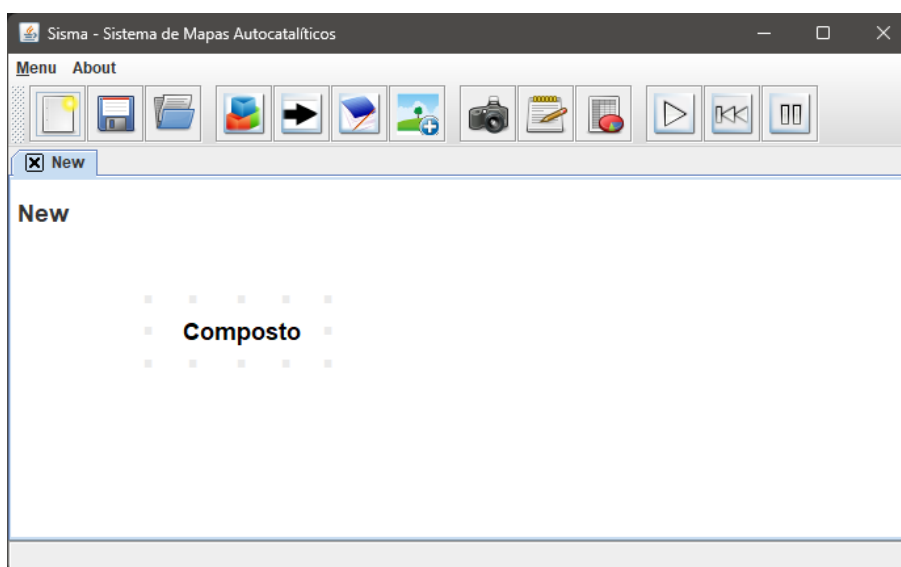
A lógica da simulação baseou-se na abordagem de eventos discretos (SED), técnica amplamente utilizada para modelar sistemas dinâmicos nos quais as mudanças de estado ocorrem em instantes específicos no tempo, conforme descrito por Banks (2005). Foi utilizada a estrutura de filas (FIFO - *First In, First Out*) para controlar a execução dos eventos no tempo. Assim, o sistema avalia sequencialmente as interações entre os objetos, processando transformações apenas quando ocorrem eventos relevantes, o que resulta em uma simulação mais eficiente.

As fórmulas utilizadas para representar as reações foram tratadas por meio de análises léxica, sintática e semântica, semelhantes às etapas de um compilador. Essa técnica permite avaliar expressões matemáticas inseridas pelo usuário e aplicar operações como soma, subtração, multiplicação, divisão, logaritmo, exponencial e raiz.

Os dados dos mapas são armazenados em formato XML (*eXtensible Markup Language*), garantindo a portabilidade e a fácil leitura das informações entre diferentes dispositivos e versões do software.

Em resumo, o SISMA em Java representou uma inovação significativa no ensino de Bioquímica, ao permitir a visualização dinâmica de processos metabólicos, integrando aspectos computacionais e educacionais em uma ferramenta intuitiva, eficiente e cientificamente fundamentada. A interface original da aplicação pode ser observada na Figura 1.

Figura 1 – Interface da versão original do SISMA em Java (Swing), com barra de ícones clássicos e área de edição baseada em componentes da biblioteca Swing.



Fonte: do Autor.

3 TRABALHOS RELACIONADOS

O trabalho Georgiou, Dimitropoulos & Manitsaris (2007), apresenta o desenvolvimento de um laboratório virtual 3D voltado ao ensino de química, permitindo que estudantes realizem experimentos simulados em um ambiente seguro, interativo e acessível, útil em contextos de educação a distância. A proposta busca ampliar o engajamento dos alunos possibilitando a visualização imersiva de fenômenos químicos e a repetição ilimitada de experimentos. Diferentemente deste trabalho, o SismaWeb utiliza uma abordagem 2D baseada em tecnologias *web*, como p5.js e Chart.js, oferecendo simulações dinâmicas diretamente no navegador sem a necessidade de equipamentos de realidade virtual, priorizando simplicidade, acessibilidade e fácil integração ao ambiente escolar.

Outro estudo relevante é o de Alkan & Koçak (2015), que investigam o uso de simulações digitais como ferramenta de apoio ao ensino experimental de química, analisando seus efeitos sobre o desempenho acadêmico, a ansiedade laboratorial e as atitudes dos estudantes em relação a tecnologia. Os resultados indicam que simulações podem facilitar a compreensão de conceitos abstratos, reduzir o receio associado ao ambiente laboratorial e melhorar o engajamento dos alunos ao permitir experimentação segura e repetitiva. Enquanto esse trabalho enfatiza o suporte a atividades experimentais, o SismaWeb atua principalmente na visualização conceitual e matemática de transformações de elementos, oferecendo uma plataforma interativa baseada em navegador que permite explorar dinâmicas químicas e relações funcionais sem a necessidade de um contexto laboratorial real ou simulado.

4 METODOLOGIA

O desenvolvimento da nova versão do SISMA, chamado de SismaWeb, teve como principal objetivo recriar e modernizar a aplicação original, implementada em Java, para um ambiente *web*, de forma a torná-la mais acessível, interativa e compatível com diferentes dispositivos. Para isso, foi adotada uma abordagem metodológica centrada na evolução do software, com reimplementação incremental, em que as funcionalidades originais foram reinterpretadas utilizando linguagens e *frameworks* modernos da *web*. O processo foi dividido em etapas: análise do código original, escolha das tecnologias, desenvolvimento dos módulos principais e testes funcionais.

4.1 ESCOLHA DAS TECNOLOGIAS

A reimplementação foi realizada utilizando HTML e CSS para estruturar e estilizar a interface gráfica, enquanto o JavaScript foi adotado como linguagem principal devido à sua natureza interpretada, ampla compatibilidade e suporte à execução assíncrona. A biblioteca p5.js foi responsável pela criação dos elementos gráficos e animações no canvas, permitindo representar visualmente os objetos metabólicos e os fluxos de reação, em substituição a interface Swing da versão Java. O Chart.js foi utilizado para a visualização gráfica dos resultados das simulações, gerando gráficos de intensidade e evolução temporal dos reagentes e produtos durante a execução da simulação. Por fim, o formato JSON foi adotado para armazenamento e intercâmbio de dados, substituindo o XML e simplificando a manipulação das informações no ambiente *web*.

A escolha dessas tecnologias foi motivada pela sua portabilidade, leveza e grande suporte comunitário, possibilitando a criação de um *software* acessível diretamente pelo navegador, sem necessidade de instalação.

4.2 IMPLEMENTAÇÃO

A arquitetura da aplicação foi planejada de forma modular, separando as camadas de interface, lógica de simulação e persistência de dados.

Na camada de interface, a biblioteca p5.js foi utilizada para desenhar canvas interativo, no qual o usuário pode criar, mover e conectar objetos representando biomoléculas, por exem-

plo. Essas conexões são estabelecidas por meio das vias, que funcionam como setas orientando o fluxo das reações e indicando a transferência de quantidade entre os compostos durante uma simulação. Cada objeto contém propriedades como nome, cor e quantidade relativa, enquanto cada via armazena parâmetros e fórmulas matemáticas que definem o comportamento da reação. As interações são baseadas em eventos de clique e arraste (*drag and drop*), buscando reproduzir a simplicidade de uso da versão em Java.

Na camada de lógica, a simulação foi implementada como um sistema de tempo discreto determinístico. O motor percorre um *array* de vias a cada passo e para cada via, ele processa a reação definida, transferindo valores entre reagentes e produtos conforme as funções matemáticas estabelecidas pelo usuário.

A camada de persistência responsável por salvar e carregar mapas dinâmicos no formato JSON, contendo todas as informações sobre os objetos, conexões e parâmetros de simulação, quando solicitado pelo usuário, no qual é gerado um arquivo separado para cada projeto e por questões de simplicidade não está implementado em um banco de dados. Essa estrutura facilita o compartilhamento de mapas e garante compatibilidade com futuras expansões.

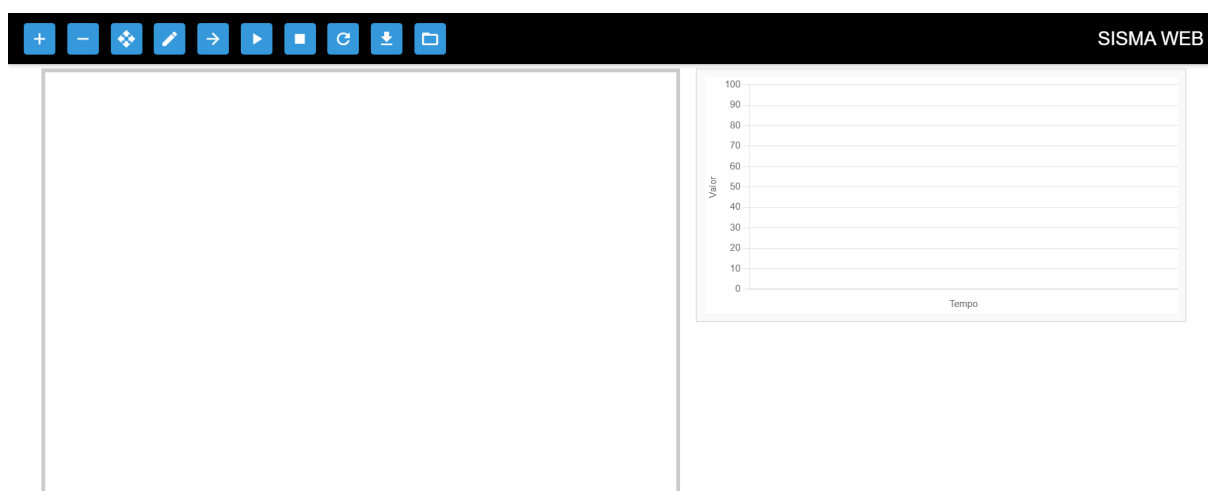
4.3 VISUALIZAÇÃO DOS RESULTADOS

Para representar graficamente o comportamento das reações simuladas, foi integrada a biblioteca Chart.js, permitindo gerar gráficos interativos que mostram a variação das quantidades dos objetos ao longo do tempo. Essa funcionalidade torna o processo de observação mais intuitivo, contribuindo para uma compreensão visual das transformações químicas envolvidas.

5 RESULTADOS ALCANÇADOS

A recriação do SISMA em ambiente web resultou em uma ferramenta moderna, interativa e multiplataforma, que preserva os princípios pedagógicos e funcionais da versão original em Java, incorporando melhorias significativas de acessibilidade e usabilidade. Desenvolvido com as bibliotecas p5.js e Chart.js, permite a elaboração e simulação de mapas metabólicos diretamente no navegador, dispensando instalação e tornando o acesso mais simples e universal. A interface inicial do SismaWeb pode ser observada na Figura 2.

Figura 2 – Tela inicial do SismaWeb com o canvas de criação de mapas metabólicos à esquerda, painel de gráficos à direita e barra de ferramentas superior.



Fonte: do Autor.

5.1 REIMPLEMENTAÇÃO DA INTERFACE INTERATIVA

A interface gráfica de utilizador (GUI) foi totalmente recriada utilizando HTML, CSS e p5.js. Essa nova interface permite criar, nomear, mover e conectar compostos diretamente no canvas, utilizando interações de clique e arrastar (*drag-and-drop*). Menus de contexto acessados por duplo clique possibilitam editar propriedades dos objetos e inserir fórmulas matemáticas personalizadas. Além disso, a barra de ferramentas oferece comandos intuitivos como *Play*, *Stop* e *Reset*, reproduzindo e simplificando a experiência original do software em Java.

5.2 SIMULAÇÃO

O motor de simulação *multi-threaded* da versão Java foi reescrito em javascript como um sistema discreto determinístico. Esse mecanismo avalia as transformações passo a passo, transferindo valores entre compostos segundo as funções definidas pelo usuário. A conversão de expressões matemáticas da forma infixa para Notação Polonesa Reversa (NPR) garante uma interpretação eficiente e precisa.

5.3 INTERPRETAÇÃO DE FÓRMULAS E VALIDAÇÃO DE ERROS

Foi implementado um analisador de expressões capaz de interpretar fórmulas inseridas pelo usuário e de detectar erros de sintaxe, divisão por zero ou variáveis inválidas, utilizando tratamento de exceções com *try-catch*. Quando ocorre um erro, a simulação é interrompida e o usuário recebe uma mensagem clara, evitando falhas inesperadas. Além disso, manteve-se a lógica de conservação de volume, garantindo que nenhuma via transfira mais valor do que o composto de origem possui.

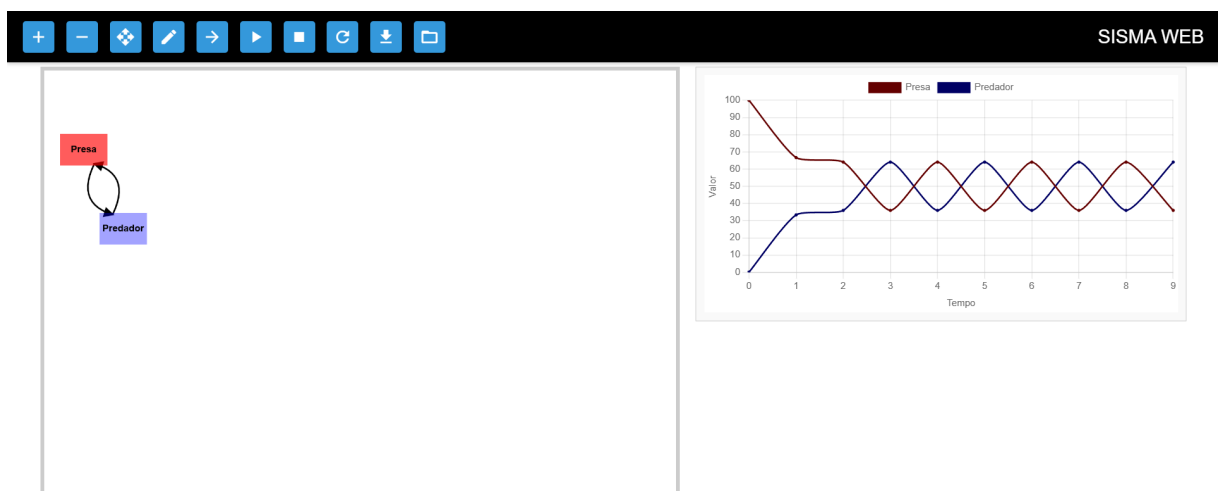
5.4 VISUALIZAÇÃO DE DADOS

A funcionalidade de gráficos originalmente implementada com JFreeChart, foi substituída pela biblioteca Chart.js. O sistema permite gerar gráficos de linha em tempo real, com atualização a cada passo da simulação, suporte a zoom no eixo temporal e exportação das figuras em formato PNG. Um exemplo dessa visualização pode ser observado na Figura 3.

5.5 PERSISTÊNCIA DE DADOS

O formato de armazenamento foi migrado do XML proprietário (.sis) para JSON, proporcionando maior compatibilidade com tecnologias web e facilitando o compartilhamento de mapas metabólicos. As funções Salvar e Carregar permitem baixar e importar mapas, e o arquivo JSON pode ser editado manualmente para ajustar parâmetros da simulação.

Figura 3 – Execução de uma simulação envolvendo dois compostos (“Presa” e “Predador”), com visualização gráfica da evolução temporal dos valores associados.



Fonte: do Autor.

6 DISCUSSÃO DOS RESULTADOS E AVALIAÇÃO HEURÍSTICA DE USABILIDADE

A migração do SISMA, para a plataforma web, teve seu foco também na melhoria da experiência do usuário. Para avaliar a nova versão utilizamos as dez heurísticas de usabilidade propostas por Nielsen (1994). As heurísticas de Nielsen constituem um conjunto de princípios gerais de design de interface, com o objetivo de identificar problemas de usabilidade de forma sistemática e independente de contextos específicos. Esses princípios abrangem aspectos como: [H1] Visibilidade do status do sistema, [H2] Relação entre sistema e o mundo real, [H3] Liberdade e controle do usuário, [H4] Padrões e consistências, [H5] Prevenção a erros, [H6] Reconhecimento em vez de memorização, [H7] Flexibilidade e eficiência de uso, [H8] Estética e design minimalista, [H9] Ajudar o usuário a reconhecer, diagnosticar e recuperar-se de erros e [H10] Ajuda e documentação.

[H1] VISIBILIDADE DO STATUS DO SISTEMA

O SismaWeb aprimora a visibilidade do status do sistema, fornecendo um feedback visual imediato durante a simulação. Os resultados são atualizados em tempo real, mostrando ao usuário a evolução dos compostos. Os botões de controle informam visualmente se o sistema está em execução ou não, tornando o comportamento do programa previsível e transparente.

[H2] RELAÇÃO ENTRE SISTEMA E O MUNDO REAL

O sistema busca falar a linguagem do utilizador, fazendo o uso de ícones modernos e universais amplamente utilizados em aplicações. A Figura 4 ilustra essa abordagem, apresentando a barra de ferramentas com os principais comandos de criação, edição e controle da simulação.

Figura 4 – Barra de ferramentas do SismaWeb com comandos de criação, edição, manipulação e controle da simulação.



Fonte: do Autor.

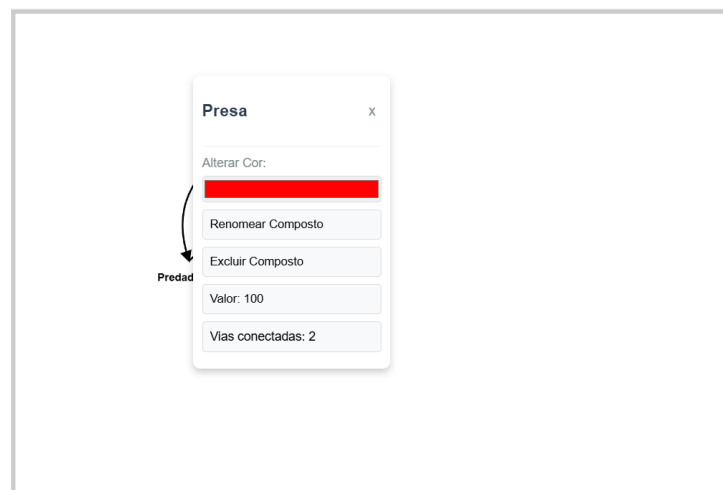
[H3] LIBERDADE E CONTROLE DO USUÁRIO

O utilizador tem total controle sobre a aplicação, podendo iniciar, interromper ou retornar ao estado inicial da simulação como facilidade. Os botões “Stop” e “Reset” funcionam como mecanismos de escape, permitindo corrigir detalhes ou testar novas configurações. O *backup* automático no início da simulação garante que o usuário volte ao estado inicial do mapa a qualquer momento, evitando frustrações em caso de erros.

[H4] PADRÕES E CONSISTÊNCIAS

A interface do SismaWeb segue a consistência. Todas as funcionalidades estão localizadas na barra de ferramentas superior e os menus de contexto para edição de vias e compostos são acessados utilizando um duplo clique sobre o elemento, reduzindo a necessidade de aprendizagem de comandos distintos. As Figuras 5 e 6 ilustram essa padronização.

Figura 5 – Menu de propriedades do composto “Presas”, permitindo edição de cor, nome, valor associado e visualização das vias conectadas.

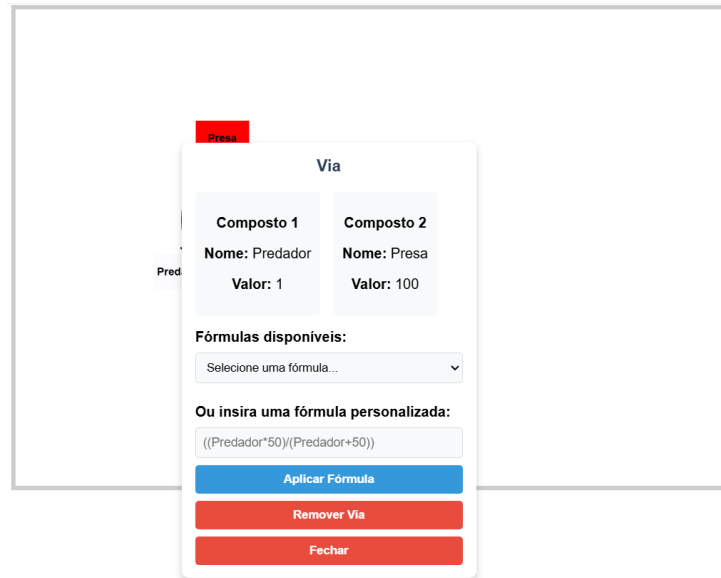


Fonte: do Autor.

[H5] PREVENÇÃO A ERROS

A inclusão de mecanismos que buscam reduzir a ocorrência de erros está presente no *software*. Como por exemplo, a transferência de um valor maior do que o composto possui, é um erro que pode acontecer em alguns casos, porém, ele é detectado e impedido de prosseguir.

Figura 6 – Menu de propriedades de uma via metabólica, exibindo os compostos conectados e permitindo a seleção ou edição de fórmulas matemáticas que definem o fluxo entre eles.



Fonte: do Autor.

[H6] RECONHECIMENTO EM VEZ DE MEMORIZAÇÃO

Adotamos uma barra de ferramentas sempre visível no topo, sem submenus, no qual concentra todas as ações primárias para a criação de um mapa, fazendo com que o usuário reconheça os ícones e a sua função.

[H7] FLEXIBILIDADE E EFICIÊNCIA DE USO

A versão *web* funciona em qualquer navegador moderno, tornando-a mais acessível para uso, excluindo a necessidade de instalação de softwares. No SISMA original, era necessário a instalação do Java Runtime Environment para que fosse possível utilizar o arquivo “jar”.

[H8] ESTÉTICA E DESIGN MINIMALISTA

Utilizamos um *layout* limpo composto essencialmente pelo canvas de simulação e pelo gráfico lado a lado em telas grandes e empilhados em telas menores, uma barra de tarefas simples e compacta contendo as funções principais e as edições avançadas são exibidas apenas quando acionadas pelo usuário.

[H9] AJUDAR O USUÁRIO A RECONHECER, DIAGNOSTICAR E RECUPERAR-SE DE ERROS

Na simulação, caso o usuário insira uma fórmula inválida, o sistema não trava por completo, ele para a simulação e informa uma mensagem sobre o erro, permitindo a análise e correção do problema imediatamente.

[H10] AJUDA E DOCUMENTAÇÃO

O sistema não possui uma tela de “Ajuda”. Porém, a partir da heurística 4 e da heurística 6, a interface se torna auto explicativa para suas funções principais. A utilização de menus simples e ícones, ajudam o usuário a compreender as funcionalidades sem consultar manuais.

7 CONCLUSÃO

A migração do SISMA para uma versão web alcançou com sucesso o objetivo de modernizar a ferramenta e torná-la mais acessível, eliminando a necessidade de instalação e permitindo o uso direto em navegadores. A reimplementação em JavaScript, com as bibliotecas p5.js e Chart.js, preservou a lógica da versão original em Java, trazendo melhorias na usabilidade e no *feedback* visual. A avaliação baseada nas heurísticas de Nielsen evidenciou avanços na experiência do usuário, em termos de visibilidade do sistema, prevenção e recuperação de erros, consistência e design minimalista. Essas melhorias tornam o SismaWeb mais intuitivo e eficaz como ferramenta de apoio ao ensino, contribuindo para a compreensão dinâmica de processos bioquímicos. Em síntese, o SismaWeb representa uma evolução do software original, adequando as tecnologias contemporâneas e ampliando seu potencial pedagógico. Trabalhos futuros podem incluir funcionalidades colaborativas, melhorias na interface e expansão das opções de análise, consolidando ainda mais o uso da ferramenta em contextos educacionais.

REFERÊNCIAS

- ALKAN, F.; KOÇAK, C. Chemistry laboratory applications supported with simulation. **Procedia-Social and Behavioral Sciences**, Elsevier, v. 176, p. 970–976, 2015.
- BANKS, J. **Discrete event system simulation**. [S.l.]: Pearson Education India, 2005.
- EVANS, E. **Domain-driven design: tackling complexity in the heart of software**. [S.l.]: Addison-Wesley Professional, 2004.
- GEORGIU, J.; DIMITROPOULOS, K.; MANITSARIS, A. A virtual reality laboratory for distance education in chemistry. **International Journal of Social Sciences**, v. 2, n. 1, p. 34–41, 2007.
- KEGG. **KEGG PATHWAY: map01100 – Metabolic pathways**. 2025. Disponível em: <https://www.kegg.jp/pathway/map01100>. Acesso em: 19 nov. 2025.
- MCTIGUE, E. M.; FLOWERS, A. C. Science visual literacy: Learners' perceptions and knowledge of diagrams. **The Reading Teacher**, Wiley Online Library, v. 64, n. 8, p. 578–589, 2011.
- NIELSEN, J. Enhancing the explanatory power of usability heuristics. In: **Proceedings of the SIGCHI conference on Human Factors in Computing Systems**. [S.l.: s.n.], 1994. p. 152–158.
- OFFERDAHL, E. G.; ARNESON, J. B.; BYRNE, N. Lighten the load: Scaffolding visual literacy in biochemistry and molecular biology. **CBE—Life Sciences Education**, American Society for Cell Biology, v. 16, n. 1, p. es1, 2017.
- STOKES, S. Visual literacy in teaching and learning: A literature perspective. **Electronic Journal for the Integration of Technology in Education**, Pocatello (EUA), v. 1, n. 1, p. 10–19, 2002.
- THOMPSON, D. S. *et al.* A proliferation of images: Trends, obstacles, and opportunities for visual literacy. **Journal of Visual Literacy**, Taylor & Francis, v. 41, n. 2, p. 113–131, 2022.