

# TRUEBLE: DA FERRAMENTA EDUCACIONAL AO AVA POR MEIO DE REESTRUTURAÇÃO FUNCIONAL E PEDAGÓGICA

Eduarda Sifuentes\*  
Alice Finger\*\*  
Ildevana Poltronieri\*\*\*

## RESUMO

Este trabalho descreve a reengenharia do aplicativo educacional TRUEBLE, voltado ao ensino de lógica proposicional, motivada por avaliações prévias que apontaram problemas de usabilidade e mediação pedagógica. O objetivo foi transformá-lo em um Ambiente Virtual de Aprendizagem, por meio de análise heurística e reengenharia de requisitos funcionais e não funcionais. Como resultado, foram produzidos protótipos de alta fidelidade com novos perfis e funcionalidades, e um teste A/B indicou preferência e maior satisfação com a versão reformulada.

**Palavras-chaves:** Ambiente Virtual de Aprendizagem, Reengenharia de software, Aplicativo educacional.

## ABSTRACT

This work presents the reengineering of the TRUEBLE educational app for teaching propositional logic, motivated by prior evaluations that revealed usability and pedagogical mediation issues. The goal was to transform it into a Virtual Learning Environment through heuristic evaluation and requirements reengineering. High-fidelity prototypes were produced, and an A/B test showed preference and higher satisfaction with the redesigned version.

**Keywords:** Virtual Learning Environment, Software Reengineering, Educational Application.

## 1. INTRODUÇÃO

O avanço de tecnologias digitais voltadas à educação tem ampliado as possibilidades de mediação pedagógica e apoio à aprendizagem, especialmente em áreas que envolvem altos níveis de abstração, como a Lógica Matemática. Ambientes virtuais de aprendizagem, aplicativos educacionais e sistemas interativos vêm sendo utilizados para tornar conteúdos complexos mais acessíveis, favorecendo o engajamento dos estudantes e promovendo autonomia e feedback contínuo (MARTINS; TIZIOTTO; CAZARINI, 2016).

\*Aluna do Curso de Ciência da Computação da Universidade Federal do Pampa, Alegrete, Rio Grande do Sul, Brasil  
E-mail: [eduardasifuentes.aluno@unipampa.edu.br](mailto:eduardasifuentes.aluno@unipampa.edu.br)

\*\*Orientadora, Professor do Curso de Engenharia de Computação da Universidade Federal do Pampa, Bagé, Rio Grande do Sul, Brasil, E-mail: [alicefinger@unipampa.edu.br](mailto:alicefinger@unipampa.edu.br)

\*\*\*Coorientadora, Professor do Curso de Engenharia de Software da Universidade Federal do Pampa, Alegrete, Rio Grande do Sul, Brasil, E-mail: [ildevanarodrigues@unipampa.edu.br](mailto:ildevanarodrigues@unipampa.edu.br)

No entanto, a literatura aponta que, embora existam aplicativos voltados à construção e ao uso de tabelas verdade, muitos deles se concentram na geração automática de respostas ou em funcionalidades pontuais, oferecendo suporte limitado ao processo de aprendizagem em si (DIAS; FINGER, 2020). Levantamentos sobre ferramentas disponíveis evidenciam lacunas recorrentes, como ausência de orientação passo a passo, pouca ênfase em feedback formativo e limitações de usabilidade e de clareza na organização das informações, o que pode dificultar a compreensão conceitual por estudantes iniciantes e reduzir o potencial pedagógico dessas soluções (ARROJO et al., 2024). Nesse contexto, o aplicativo TRUEBLE foi concebido como uma ferramenta digital de apoio ao ensino de lógica proposicional, permitindo a construção e análise de tabelas verdade por meio de uma interface gráfica intuitiva e interativa (MOURA; POLTRONIERI; FINGER, 2024).

Avaliações empíricas realizadas com estudantes de Engenharia de Software e Ciência da Computação revelaram, contudo, limitações importantes tanto do ponto de vista da usabilidade quanto da mediação pedagógica (MOURA; POLTRONIERI; FINGER, 2024; ARROJO et al., 2024). Entre as fragilidades identificadas destacam-se a ausência de feedback formativo, a inconsistência visual entre seções, a falta de suporte para usuários iniciantes e dificuldades de navegação decorrentes da forma como os módulos eram organizados. Esses fatores impactam diretamente a experiência de aprendizagem e restringem o potencial educativo do sistema.

Diante desse cenário, o objetivo do trabalho é reestruturar o TRUEBLE, visando transformá-lo em um Ambiente Virtual de Aprendizagem (AVA) mais coerente, integrado e alinhado às necessidades pedagógicas. Esse processo envolveu a reformulação dos fluxos de uso, o aprimoramento da clareza das telas, a adoção de novos papéis de usuário e a ampliação e criação de novas funcionalidades dedicadas ao estudo, ao acompanhamento e à mediação docente.

Neste trabalho, apresenta-se um percurso metodológico que integra, de forma contínua, a análise documental das avaliações prévias, a análise heurística baseada nas heurísticas de Nielsen, o mapeamento sistemático dos problemas de usabilidade observados, a reconstrução da linha de base de requisitos do sistema, a reengenharia desses requisitos sob perspectivas funcionais, pedagógicas e de experiência do usuário, e a prototipação de alta fidelidade que materializa as melhorias propostas.

O estudo culmina na validação empírica do redesign, concentrada exclusivamente na seção “Conteúdos Disponíveis”, reformulação do antigo módulo “Aprender”, cuja escolha se justifica pela divisão de responsabilidades na implementação e pela necessidade de garantir consistência metodológica na comparação entre a versão original e a versão reprojeta.

O artigo está organizado da seguinte forma: a Seção 2 apresenta os referenciais teóricos que sustentam a concepção do novo ambiente; a Seção 3 detalha o percurso metodológico adotado; a Seção 4 descreve a origem e a estrutura original do TRUEBLE; a Seção 5 apresenta o desenvolvimento da pesquisa e as etapas de prototipação; a Seção 6 descreve o processo de avaliação conduzido e discute os resultados obtidos; e, por fim, a Seção 7 reúne as considerações finais e as perspectivas de continuidade do projeto.

## 2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

A transformação de ferramentas educacionais em soluções capazes de sustentar processos de ensino e aprendizagem de forma mais ampla requer uma base teórica que articule pedagogia, Interação Humano-Computador (IHC) e engenharia de software. Neste estudo, tal articulação é mobilizada para compreender o reposicionamento do TRUEBLE, originalmente concebido como uma ferramenta educacional, em direção a características esperadas de um Ambiente Virtual de Aprendizagem (AVA).

AVAs podem ser compreendidos como ecossistemas digitais integrados que reúnem conteúdos, mediação didática, recursos de interação e elementos de acompanhamento do percurso do estudante (MARTINS; TIZIOTTO; CAZARINI, 2016). Diferentemente de aplicativos educacionais estritamente instrumentais, cujo foco tende a ser a execução pontual de tarefas, um AVA assume um papel mais amplo de mediação pedagógica, ao estruturar trajetórias de estudo, favorecer a participação do estudante, possibilitar retomadas e oferecer feedback ao usuário.

Nesse sentido, a discussão sobre AVAs é fundamental para delimitar o que caracteriza um ambiente de aprendizagem e justificar intervenções que ultrapassem a dimensão operacional do sistema. Diretrizes para AVAs eficazes reforçam que o ambiente não deve se restringir ao fornecimento de conteúdo, mas promover uma integração equilibrada entre tecnologia e processos educacionais, sustentando mediação ativa, participação do estudante, feedback contínuo e organização estruturada dos conteúdos (MARTINS; TIZIOTTO; CAZARINI, 2016).

Considerando que a reestruturação foi motivada por limitações de usabilidade e de mediação pedagógica, a fundamentação também se apoia em conceitos de usabilidade e experiência do usuário (UX) aplicados a sistemas educacionais. Em contextos de aprendizagem, falhas de interação podem elevar a carga cognitiva extrínseca, gerar frustração e desviar a atenção do estudante do conteúdo para a ferramenta, o que torna a qualidade da interface um componente crítico do uso educacional (BARBOSA; SILVA, 2010).

Para sustentar a análise crítica da interface, este trabalho adota as heurísticas de Nielsen como referencial de avaliação (NIELSEN, 2005), com ênfase em violações relacionadas à visibilidade do status do sistema (H1), consistência e padrões (H4), prevenção de erros (H5), estética e design minimalista (H8) e apoio para reconhecer, diagnosticar e recuperar-se de erros (H9). Além da identificação, a sistematização dos problemas por categorias e a atribuição de severidade contribuem para priorizar correções, considerando critérios como impacto, frequência e persistência, orientando o esforço de redesign para elementos que mais comprometem o fluxo de uso e, conseqüentemente, o percurso de aprendizagem (NIELSEN, 2005).

Do ponto de vista técnico, a evolução do sistema é sustentada pela reengenharia de software, entendida como um processo sistemático de revisão, adaptação e modernização de sistemas existentes para aprimorar sua qualidade e adequá-los a novos contextos de uso (SOMMERVILLE, 2019). Nessa perspectiva, a reengenharia envolve também a reconstrução e consolidação de requisitos, especialmente importante quando há ausência de documentação formal.

Requisitos funcionais (RF) descrevem o que o sistema faz, isto é, seus serviços e comportamentos observáveis, como autenticação, navegação entre conteúdos, regis-

tro de atividades e funcionalidades de acompanhamento. Já requisitos não funcionais (RNF) descrevem atributos de qualidade que condicionam a experiência e a eficácia do sistema, como usabilidade, clareza, consistência visual, desempenho, acessibilidade e confiabilidade (PRESSMAN; MAXIM, 2016).

Por fim, para comparar versões e verificar efeitos do redesign na percepção de uso, a avaliação empírica pode ser fundamentada em estratégias de teste A/B aplicadas a UX/IHC (QUINA et al., 2023; PAVLOVICH; KIRYNOVICH, 2021), especialmente por meio de delineamento intra-sujeitos (crossover) e contrabalanceamento, mitigando efeitos de ordem e familiaridade. Questionários com itens em escala Likert são adequados para captar percepções subjetivas relacionadas a clareza, consistência, feedback e facilidade de uso, e sua análise por estatística descritiva permite sintetizar padrões e comparar tendências entre as versões avaliadas (SOUTH et al., 2022), oferecendo suporte metodológico para discutir resultados e implicações do redesenho no contexto educacional.

### 3. METODOLOGIA

A metodologia deste estudo fundamenta-se em princípios consolidados da pesquisa científica, conforme orientações clássicas da literatura de Metodologia do Trabalho Científico, que ressaltam a importância de definir com precisão a natureza da investigação, os procedimentos utilizados e os instrumentos empregados ao longo do processo analítico (PRODANOV; FREITAS, 2013). Em conformidade com essas diretrizes, a pesquisa caracteriza-se como aplicada, de abordagem qualitativa e de caráter descritivo e exploratório, pois busca compreender fenômenos de usabilidade no TRUEBLE e propor melhorias sustentadas por evidências empíricas.

O percurso metodológico foi estruturado em um conjunto de etapas integradas, articulando métodos documentais, analíticos, projetuais e experimentais. A Figura 1 apresenta uma síntese visual dessas etapas.

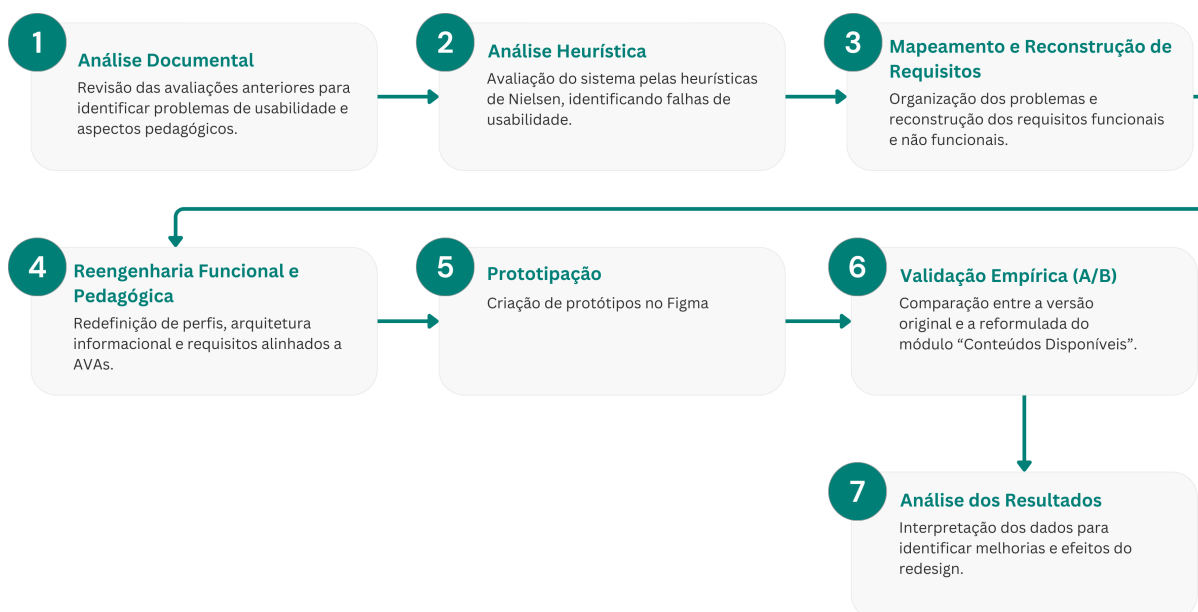


Figura 1 - Etapas Metodológicas

Inicialmente, realizou-se uma análise documental das avaliações empíricas pré-

vias conduzidas com estudantes de Engenharia de Software e de Ciência da Computação. Esses registros forneceram indícios concretos sobre limitações de usabilidade e fragilidades pedagógicas presentes nos módulos “Aprender” e “Construir”, orientando a identificação preliminar dos principais pontos críticos do sistema.

Em seguida, procedeu-se à análise heurística, conduzida com base nos princípios clássicos de usabilidade propostos por Nielsen. Essa etapa permitiu qualificar os problemas identificados, evidenciando violações relacionadas à visibilidade do status, à consistência visual, à prevenção de erros, à densidade informacional e à ausência de instruções contextuais. A articulação entre a análise documental e a heurística possibilitou a construção de um diagnóstico robusto, capaz de orientar as fases subsequentes de reprojeto.

Os achados dessas análises foram sistematizados em um mapeamento estruturado que descreveu cada problema, seu contexto de ocorrência e sua severidade. Essa sistematização tornou possível reconstruir a linha de base de requisitos funcionais e não funcionais do TRUEBLE, uma etapa necessária diante da ausência de documentação formal da versão original. A reconstrução forneceu um panorama organizado e verificável do estado vigente da aplicação, servindo como referência para o processo de reengenharia.

A fase seguinte consistiu na reengenharia funcional e pedagógica, que envolveu a reorganização da arquitetura informacional, a redefinição dos perfis de usuário e a formulação de novos requisitos alinhados às necessidades identificadas e às diretrizes pedagógicas próprias de Ambientes Virtuais de Aprendizagem (AVAs). As soluções concebidas foram materializadas em protótipos de alta fidelidade desenvolvidos no Figma, permitindo testar fluxos de navegação, hierarquias informacionais e escolhas visuais antes da implementação definitiva. Essa etapa foi fundamental para relacionar o diagnóstico analítico à futura verificação empírica, garantindo coerência entre os objetivos pedagógicos, os requisitos e o design.

Ressalta-se que os módulos resultantes da reengenharia, “Construir Tabela” e “Conteúdos Disponíveis”, sendo este último correspondente ao antigo “Módulo Aprender”, foram implementados por diferentes integrantes da equipe de desenvolvimento. Em razão dessa divisão de responsabilidades, a avaliação empírica conduzida neste estudo concentra-se exclusivamente no módulo “Conteúdos Disponíveis”, assegurando consistência metodológica na comparação entre a versão original e a versão reformulada.

A validação foi realizada por meio de um experimento A/B, no qual duas variantes do software são comparadas em campo sob a perspectiva do usuário final (QUINA et al., 2023). Nesse experimento, estudantes da área de Computação executaram tarefas relacionadas à navegação, leitura de conteúdos, resolução de exercícios e interpretação de feedbacks. Ao final, os participantes responderam a um questionário em escala Likert, amplamente utilizado para obter estimativas quantitativas de atributos subjetivos, como facilidade de uso e confiança do usuário (SOUTH et al., 2022).

A análise integrada desses dados permitirá verificar a eficácia do redesign e identificar evidências de aprimoramento da experiência de aprendizagem. Em particular, experimentos A/B são empregados para apoiar decisões orientadas por dados sobre adoção e evolução de funcionalidades (QUINA et al., 2023) e podem ser usados para controlar alterações de interface, reduzir o risco de decisões incorretas e obter feed-

back diretamente dos usuários (PAVLOVICH; KIRYNOVICH, 2021).

#### 4. ORIGEM E ESTRUTURA DO TRUEBLE

O TRUEBLE é um aplicativo educacional desenvolvido no âmbito do Laboratório de Engenharia de Software Inteligente (LabISE) da Universidade Federal do Pampa (UNIPAMPA), com o propósito de apoiar o ensino e a aprendizagem de Lógica Matemática, especialmente no estudo das tabelas verdade. Sua criação foi motivada por pesquisas anteriores conduzidas por (DIAS; FINGER, 2020), que analisaram diversos aplicativos disponíveis na Google Play Store e constataram que, embora eficientes na geração automática de tabelas verdade, essas ferramentas careciam de abordagens pedagógicas, recursos explicativos e interatividade capazes de promover uma aprendizagem efetiva e contextualizada.

Diante dessa lacuna, o grupo de pesquisa concebeu o TRUEBLE como uma solução educacional integrada, que combina conteúdo teórico, prática guiada e verificação de resultados, com foco na compreensão conceitual progressiva e no desenvolvimento do raciocínio lógico. O aplicativo foi projetado de forma modular, de modo que cada componente aborda uma etapa específica do processo de ensino-aprendizagem, estimulando a autonomia do estudante e o aprendizado ativo. A Figura 2 apresenta a tela inicial do aplicativo, na qual é possível visualizar sua organização em módulos.

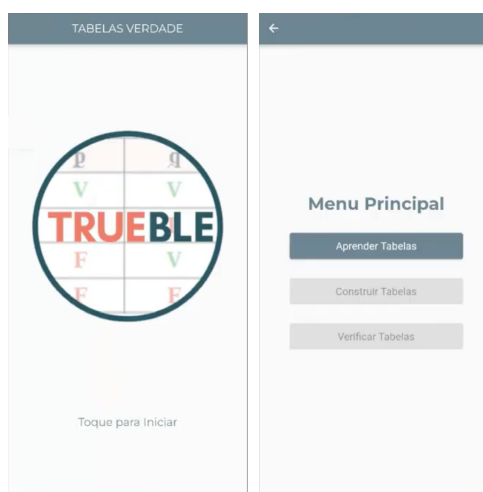


Figura 2 - Tela de Acesso Do Trueble

O primeiro módulo, denominado “Aprender Tabelas” (Figura 3), apresenta os conceitos fundamentais da lógica proposicional por meio de explicações breves, resumos visuais e exemplos interativos. Cada seção de estudo é acompanhada de exercícios que permitem ao estudante testar sua compreensão e receber *feedback* imediato, favorecendo o reforço cognitivo. Esse módulo foi implementado e testado com usuários, permitindo validar sua usabilidade e eficácia no apoio ao aprendizado.

O segundo módulo, “Construir Tabelas” (Figura 3), tem como foco a elaboração prática das tabelas verdade: o usuário insere fórmulas lógicas e preenche manualmente as colunas, refletindo sobre o significado dos operadores e das proposições. Toda a prototipação desse módulo foi desenvolvida no *Figma*, seguida de testes de interação com usuários, os quais contribuíram para o aprimoramento da interface e das funcionalidades antes da implementação final.



Figura 3 - Módulo Aprender Original

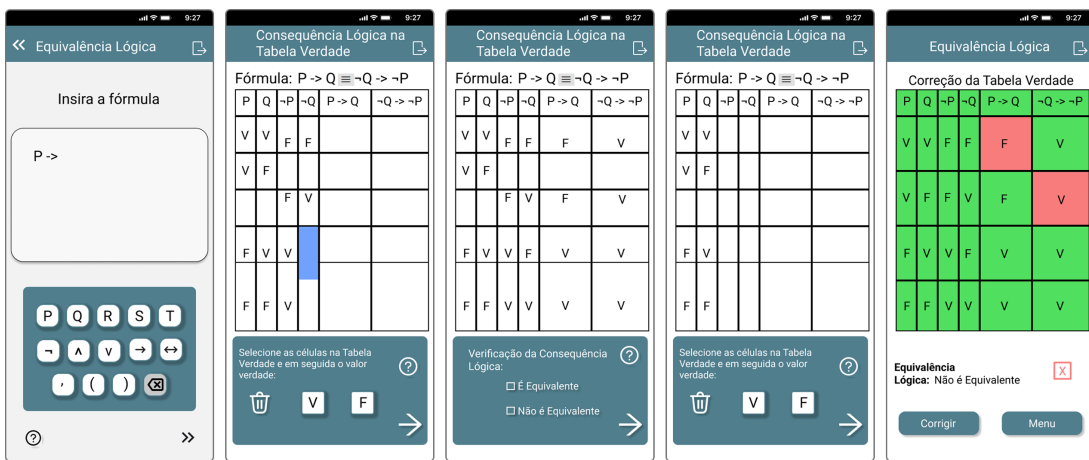


Figura 4 - Módulo Construir Original

Já o terceiro módulo, “Verificar Tabelas”, que não foi desenvolvido nem prototipado, teria como objetivo validar as construções realizadas, permitindo que o estudante insira uma fórmula e visualize a tabela verdade correta,.

Assim, a apresentação do TRUEBLE e de sua estrutura modular permite compreender o escopo funcional e pedagógico do sistema, servindo como ponto de partida para o processo de reengenharia aqui proposto. A etapa seguinte consistiu, portanto, na reconstrução da linha de base de requisitos do aplicativo, a fim de registrar formalmente as funcionalidades atualmente implementadas e estabelecer um referencial confiável para as análises posteriores.

## 5. DESENVOLVIMENTO

Para além da descrição estrutural do TRUEBLE e de sua organização em módulos, a etapa de desenvolvimento deste estudo volta-se à investigação sistemática do funcionamento real do aplicativo, examinando como suas funcionalidades, interfaces e mecanismos pedagógicos se comportam na prática. Esse movimento marca a transição entre a compreensão histórica do sistema e a análise crítica necessária para orientar sua reengenharia. Assim, o desenvolvimento aqui apresentado não se restringe a relatar implementações, mas articula evidências empíricas, diagnósticos heurísticos e reconstruções formais de requisitos, compondo um percurso metodoló-

gico integrado que fundamenta as decisões de redesign e a evolução do TRUEBLE rumo a um ambiente de aprendizagem mais coerente, acessível e pedagogicamente robusto.

## 5.1. ESTUDO DAS AVALIAÇÕES ANTERIORES DO TRUEBLE

Foram analisadas duas avaliações do aplicativo TRUEBLE, centradas nos módulos “Construir” e “Aprender”, com base nos dados e achados de Moura (MOURA; POLTRONIERI; FINGER, 2024) e Arrojo (ARROJO et al., 2024). As avaliações foram realizadas com estudantes dos cursos de Engenharia de Software e Ciência da Computação da UNIPAMPA e tiveram por objetivo identificar limitações de usabilidade e de eficácia pedagógica, fornecendo evidências qualitativas essenciais para a subsequente reformulação dos requisitos do sistema.

No módulo “Aprender”, observou-se a recorrência de conteúdo considerado repetitivo, pouco desafiador e dissociado das explicações teóricas. Constatou-se, adicionalmente, a ausência de mediação didática (por exemplo, dicas, pistas ou instruções contextuais), o que levou os participantes a caracterizarem o módulo como equivalente a um quiz tradicional, sem oportunidades significativas de construção ativa do conhecimento. Esses achados indicam a necessidade de mediação pedagógica contextualizada e da inclusão de tutoriais e suportes embutidos, com vistas a ampliar o engajamento e o apoio ao processo de aprendizagem.

No módulo “Construir”, as críticas concentraram-se na falta de clareza da interface, destacando-se a ausência de indicação de rolagem vertical, a baixa intuitividade dos ícones e a carência de feedback imediato. Ademais, a manipulação dos blocos lógicos mostrou-se confusa para usuários iniciantes. Não obstante, alguns participantes relataram avanços na compreensão de lógica proposicional após uso contínuo da ferramenta. As evidências, nesse contexto, sinalizam a urgência de reformulação com foco na usabilidade inicial e no fortalecimento do feedback textual e visual.

Em síntese, as avaliações empíricas delinearam os principais entraves de usabilidade e lacunas pedagógicas do TRUEBLE, ressaltando a necessidade de alinhamento entre objetivos educacionais e soluções de interface. Esses resultados orientam a etapa subsequente deste trabalho, dedicada à análise heurística do sistema, a fim de qualificar os problemas identificados com base em critérios estabelecidos de usabilidade.

## 5.2. ANÁLISE HEURÍSTICA DO TRUEBLE

Em continuidade às avaliações empíricas, realizou-se uma análise heurística completa do TRUEBLE, fundamentada nas heurísticas de usabilidade propostas por Nielsen 2005. A inspeção partiu dos problemas previamente elencados nas etapas anteriores, com o objetivo de qualificá-los e sistematizá-los em categorias de violação, considerando o contexto educacional em que o sistema está inserido. Essa etapa buscou identificar problemas de interface e de interação capazes de comprometer a experiência do usuário e, conseqüentemente, o percurso de aprendizagem.

No módulo “Aprender Tabelas”, identificou-se um problema estrutural significativo: o formato de rolagem contínua não oferece ao usuário qualquer indicação de progresso (por exemplo, barras, etapas numeradas ou marcadores visuais). Tal ausência de feedback configura violação da Heurística **H1 (Visibilidade do Status do**

**Sistema**), na medida em que dificulta a compreensão do avanço no conteúdo e a localização dentro do fluxo de estudo.

Adicionalmente, verificou-se elevada densidade textual, caracterizada por blocos extensos de texto e pela presença de tabelas complexas, o que viola a Heurística **H8 (Estética e Design Minimalista)**. A conjunção entre rolagem contínua e alta densidade visual compromete a percepção de progresso, reduz a legibilidade e torna a leitura exaustiva, com potencial de gerar sobrecarga cognitiva e fadiga visual.

Do ponto de vista pedagógico, observou-se ainda a insuficiência de feedback formativo nos exercícios. O sistema apresenta apenas um resumo final de acertos e erros, sem indicar quais questões foram respondidas incorretamente. Essa limitação torna o estudante incapaz de identificar seus erros e revisar o conteúdo de forma direcionada, comprometendo o caráter formativo da atividade.

No módulo “Construir”, emergiram outras falhas de usabilidade. A ausência de instruções, tutoriais ou *tooltips* compromete a compreensão das funcionalidades, sobretudo entre usuários iniciantes. Constatou-se também a inexistência de mensagens de erro claras durante a inserção de fórmulas incorretas, o que dificulta a identificação da causa e a adoção de medidas corretivas. Tais lacunas caracterizam violação da Heurística **H9 (Ajudar Usuários a Reconhecer, Diagnosticar e Recuperar-se de Erros)**.

De modo geral, verificou-se carência de feedback visual e textual associado às ações executadas (por exemplo, cliques em botões e elementos dinâmicos), o que reforça a violação da Heurística **H1 (Visibilidade do Status do Sistema)**. Constatou-se, ademais, a ausência de padronização visual entre seções, comprometendo a coerência estética e funcional e dificultando a formação de um modelo mental consistente por parte do estudante. Essa inconsistência infringe a Heurística **H4 (Consistência e Padrões)**.

Soma-se a isso a falta de validações e confirmações antes da execução de determinadas ações, o que configura uma violação da Heurística **H5 (Prevenção de Erros)**. Nessas situações, o sistema não apresenta mensagens de aviso nem solicita confirmação prévia em interações críticas, o que pode levar o usuário a cometer erros de interpretação ou operação sem qualquer suporte corretivo imediato.

Em conjunto, as evidências qualificam um conjunto de problemas que demandam reestruturação da interface com foco na uniformização visual, no provimento de feedback contínuo e na adoção de um desenho informacional hierarquizado e funcional. Tais melhorias tendem a aprimorar a clareza do sistema e o engajamento do usuário ao longo do processo de aprendizagem. As conclusões obtidas nesta etapa sustentam a fase subsequente da pesquisa, dedicada ao mapeamento sistemático dos problemas de usabilidade identificados.

### **5.3. MAPEAMENTO DOS PROBLEMAS DE USABILIDADE**

Esta seção apresenta o mapeamento dos problemas de usabilidade do TRUEBLE a partir de duas fontes principais: as evidências empíricas reportadas nos estudos anteriores de Moura e Arrojo (MOURA; POLTRONIERI; FINGER, 2024; ARROJO et al., 2024) e a análise heurística conduzida neste trabalho, com ênfase nos módulos “Construir” e “Aprender”. O objetivo é descrever, de forma estruturada, cada problema identificado, indicando sua natureza, o contexto de ocorrência e a heurística violada,

de modo a subsidiar etapas subsequentes de reengenharia funcional e pedagógica do sistema.

A Tabela 1 apresenta os problemas organizados por ordem de ocorrência, com indicação de um identificador (ID), da descrição do problema, da heurística violada (HN) e do nível de severidade (SV), segundo a escala de severidade de Nielsen. Essa escala varia de 0 a 4 e expressa o impacto do problema na experiência do usuário e a necessidade de correção, com os seguintes níveis: (0) não é um problema de usabilidade; (1) problema cosmético, correção opcional; (2) problema menor de usabilidade, correção desejável; (3) problema significativo de usabilidade, correção recomendada com alta prioridade; (4) problema crítico de usabilidade, requer correção imediata.

Tabela 1 - Mapeamento dos Problemas de Usabilidade

ID	Descrição do Problema	HN	SV
P01	Rolagem contínua sem indicação de progresso, dificultando a percepção de avanço e a localização no conteúdo.	H1	3
P02	Densidade textual elevada e tabelas complexas, reduzindo legibilidade e contribuindo para sobrecarga cognitiva.	H8	2
P03	Carência de feedback imediato após ações do usuário (por exemplo, cliques em botões e elementos dinâmicos).	H1	3
P04	Inconsistência visual entre seções e elementos, prejudicando a previsibilidade das interações.	H4	2
P05	Ausência de validações e confirmações prévias em ações potencialmente críticas, ampliando o risco de erros operacionais.	H5	3
P06	Mensagens de erro insuficientes durante a inserção de fórmulas, sem explicitar causa e correção.	H9	3
P07	Ícones pouco intuitivos e ausência de legendas, dificultando a compreensão inicial de funcionalidades.	H4	2
P08	Ausência de ajuda embutida (dicas, instruções contextuais, tutoriais) para orientar usuários iniciantes.	H10	2
P09	Feedback formativo insuficiente nos exercícios (apenas resumo final de acertos/erros, sem indicar itens incorretos).	H9	3

Em síntese, o mapeamento sistemático apresentado fornece um quadro abrangente dos pontos críticos de usabilidade do TRUEBLE, evidenciando padrões recorrentes em visibilidade de status (H1), consistência (H4), prevenção e recuperação de erros (H5, H9), bem como na estética e na carga informacional (H8) e na disponibilidade de ajuda (H10). Esse panorama qualificado orienta a formulação de diretrizes de redesign e a revisão dos requisitos funcionais, além de oferecer uma base verificável para futuras iterações de avaliação. Nas seções seguintes, esses achados são empregados para especificar intervenções de interface.

#### 5.4. RECONSTRUÇÃO DA LINHA DE BASE DE REQUISITOS DO TRUEBLE

Diante da ausência de artefatos formais, como documentos de especificação, casos de uso, histórias de usuário ou backlog versionado, tornou-se necessário reconstruir a linha de base de requisitos a partir das evidências observadas diretamente na interface e nos fluxos de uso. Essa reconstrução teve como propósito registrar de forma estruturada o comportamento atual do sistema, estabelecendo uma referência verificável para as etapas de análise e reengenharia subsequentes.

A Tabela 2 apresenta o conjunto de Requisitos Funcionais (RF) identificados na versão vigente do TRUEBLE. Esses requisitos foram mapeados a partir da observa-

ção empírica das interações oferecidas pela interface e pelos módulos *Aprender* e *Construir*, além das ações gerais de acesso e encerramento do aplicativo. O levantamento sistematiza as operações que o sistema disponibiliza ao usuário, bem como as respostas geradas a partir de cada ação, permitindo compreender o escopo funcional efetivamente implementado.

Tabela 2 - Requisitos Funcionais (RF) do TRUEBLE

ID	Nome do Requisito	Descrição da Funcionalidade	Módulo
RF00	Acessar Aplicativo	Permitir o acesso ao aplicativo com um único clique na tela inicial, iniciando automaticamente a sessão no modo convidado.	Geral
RF01	Iniciar Tópico	Permitir iniciar um tópico de estudo no módulo <i>Aprender</i> , registrando o início da sessão de aprendizagem.	Aprender
RF02	Finalizar Tópico	Permitir encerrar um tópico após leitura e realização das atividades correspondentes, marcando-o como concluído.	Aprender
RF03	Realizar Exercícios	Permitir ao usuário responder aos exercícios, visualizar o resultado geral de acertos e erros e refazer a atividade completa se desejar.	Aprender
RF04	Inserir e Gerar Tabela Verdade	Permitir ao usuário inserir uma fórmula lógica e gerar automaticamente a tabela verdade correspondente, validando a estrutura sintática e exibindo mensagens em caso de erro.	Construir
RF05	Construir Tabela-Verdade	Permitir preencher manualmente as células da tabela-verdade gerada, atribuindo valores lógicos às proposições.	Construir
RF06	Verificar Tabela-Verdade	Corrigir automaticamente a tabela construída, exibindo feedback visual imediato (verde para acertos, vermelho para erros).	Construir
RF07	Classificar Fórmula	Identificar automaticamente o tipo de expressão lógica (Consequência, Equivalência ou Argumento) e solicitar ao usuário a validação correspondente.	Construir
RF08	Verificar Histórico de Fórmulas	Exibir o histórico de fórmulas previamente construídas, permitindo revisão e análise de desempenho.	Construir
RF09	Encerrar Sessão	Permitir encerrar o uso do aplicativo e retornar à tela inicial.	Geral

A Tabela 3 apresenta os principais Requisitos Não Funcionais (RNFs) reconstruídos para o TRUEBLE, destacando aspectos de interação, feedback e suporte à aprendizagem, especialmente nos módulos *Aprender* e *Construir*.

**Tabela 3 - Requisitos Não Funcionais (RNF) do TRUEBLE**

ID	Nome do Requisito	Descrição do Atributo de Qualidade	Módulo
RNF01	Feedback Imediato	O sistema deve apresentar retorno visual ou textual instantâneo após cada ação do usuário, indicando o processamento ou resultado das operações realizadas.	Geral
RNF02	Validação Preventiva de Fórmulas	O sistema deve validar automaticamente a estrutura sintática das fórmulas antes da geração da tabela-verdade, exibindo mensagens claras em caso de erro.	Construir
RNF03	Teclado Virtual com Operadores Lógicos	Disponibilizar uma interface personalizada com os principais símbolos da lógica proposicional (como $\wedge$ , $\vee$ , $\rightarrow$ , $\neg$ ), facilitando a inserção de dados e contribuindo para a usabilidade, especialmente de usuários iniciantes.	Construir
RNF04	Feedback Detalhado de Exercícios	Após a correção das atividades, o sistema deve fornecer feedback formativo com a identificação de respostas corretas e incorretas, indicando oportunidades de reestudo.	Aprender
RNF05	Consistência Visual	Manter padrões visuais e comportamentais entre os módulos, garantindo uniformidade de ícones, cores e disposição de elementos interativos.	Geral
RNF06	Mensagens de Erro Instrutivas	As mensagens de erro devem ser compreensíveis e orientativas, indicando a natureza do problema e sugerindo como corrigi-lo.	Construir

## 5.5. REGENHARIA DE REQUISITOS

Com base nas limitações evidenciadas pelas avaliações empíricas, empreendeu-se a reengenharia dos requisitos do TRUEBLE, entendida como a reavaliação sistemática e a adaptação de requisitos existentes para novos contextos de uso, visando corrigir deficiências funcionais, de usabilidade e de alinhamento pedagógico (SOMMERVILLE, 2019).

No caso do TRUEBLE, reconheceu-se o potencial educativo dos módulos analisados, porém com lacunas concretas que exigem intervenções em três frentes: (i) arquitetura de interface (estrutura informacional, navegação e visibilidade de estado), (ii) fluxos de interação (feedback oportuno, instruções claras e respostas consistentes do sistema) e (iii) integração pedagógica (coerência entre tarefa, conteúdo e mediação didática).

Como diretriz de alto nível, propõe-se substituir a organização modular fragmentada por um ambiente unificado, configurando o TRUEBLE como um AVA funcional, no qual conteúdos, mediação didática, comunicação e ferramentas avaliativas coexistam de forma coesa. A expectativa é reduzir a carga cognitiva imposta por transições entre módulos, elevar a previsibilidade das interações e fortalecer o vínculo entre objetivos de aprendizagem.

### 5.5.1. REQUISITOS FUNCIONAIS

O novo conjunto de Requisitos Funcionais (RFs), apresentado na Tabela 4, foi estruturado com base nas evidências coletadas durante a análise heurística e no mapeamento dos problemas de usabilidade identificados nas versões anteriores do TRUEBLE. A reformulação teve como propósito eliminar inconsistências de navegação, ampliar a clareza das interações e integrar recursos que favorecem a aprendizagem ativa.

Essa nova configuração funcional também redefine a estrutura de papéis no sistema, distinguindo os perfis de acesso de aluno e professor e incorporando a opção de entrada como convidado, com funcionalidades limitadas para exploração inicial. Essa organização permite uma experiência mais coerente com o contexto educacional, assegurando mediação docente, acompanhamento individualizado e autonomia

discente. Entre as funcionalidades introduzidas destacam-se o gerenciamento de turmas e alunos, o monitoramento de desempenho, a criação de listas de exercícios e o feedback automatizado, que tornam o sistema mais interativo e alinhado a práticas pedagógicas contemporâneas.

Tabela 4 - Novos Requisitos Funcionais (RF) do TRUEBLE

ID	Nome do Requisito	Descrição da Funcionalidade	Módulo/Perfil
RF01	Autenticação de Usuário	Permitir que o usuário acesse o sistema por meio de credenciais válidas, garantindo a segurança e o controle de acesso.	Geral
RF02	Acesso como Convidado	Permitir o acesso ao sistema sem autenticação formal, oferecendo funcionalidades limitadas para exploração inicial.	Geral
RF03	Gerenciar Turmas	Permitir ao professor criar, editar e excluir turmas, definindo informações básicas e regras de participação.	Professor
RF04	Participar de Turma	Permitir ao aluno ingressar em turmas previamente cadastradas mediante código de convite ou aprovação do professor.	Aluno
RF05	Gerenciar Alunos	Permitir ao professor listar e remover alunos vinculados às suas turmas.	Professor
RF06	Inserir e Gerar Tabela Verdade	Permitir ao usuário inserir uma fórmula lógica e gerar automaticamente a tabela verdade correspondente, validando a sintaxe e exibindo mensagens de erro em caso de inconsistências.	Construir
RF07	Construir Tabela Manualmente	Permitir ao usuário preencher manualmente as células da tabela verdade gerada, atribuindo valores lógicos e recebendo feedback visual sobre acertos e erros.	Construir
RF08	Verificar Tabela Verdade	Permitir ao sistema corrigir automaticamente a tabela construída, exibindo feedback visual imediato (verde para acertos e vermelho para erros).	Construir
RF09	Classificar Fórmula	Identificar automaticamente o tipo de expressão lógica (consequência, equivalência ou argumento) e solicitar ao usuário a validação correspondente.	Construir
RF10	Verificar Histórico de Fórmulas	Permitir ao usuário acessar o histórico de fórmulas já construídas e revisar resultados anteriores.	Construir
RF11	Iniciar Tópico de Estudo	Permitir ao aluno iniciar um tópico no módulo <i>Aprender</i> , registrando progresso e tempo de estudo.	Aprender / Aluno
RF12	Concluir Tópico de Estudo	Permitir ao aluno finalizar um tópico no módulo <i>Aprender</i> , marcando-o como concluído.	Aprender / Aluno
RF13	Gerenciar Banco de Questões	Permitir ao professor criar e editar categorias e questões associadas a conteúdos de lógica proposicional.	Professor
RF14	Gerenciar Exercícios	Permitir ao professor criar, editar e excluir exercícios vinculados ao banco de questões, incluindo feedback explicativo.	Professor
RF15	Gerenciar Listas de Exercícios	Permitir ao professor criar, visualizar e excluir listas de exercícios atribuídas aos alunos.	Professor
RF16	Realizar Lista de Exercícios	Permitir ao aluno acessar e resolver listas criadas pelo professor, com correção automática e feedback textual.	Aluno
RF17	Acompanhar Desempenho	Permitir ao professor monitorar o desempenho individual e coletivo dos alunos, com base nos resultados das atividades realizadas.	Professor
RF18	Encerrar Sessão	Permitir ao usuário encerrar sua sessão e retornar à tela inicial do aplicativo.	Geral

A estrutura funcional proposta foi desenvolvida com o objetivo de assegurar que cada ação disponível no sistema esteja articulada a uma estratégia pedagógica intencional, fortalecendo a mediação didática e favorecendo a construção de uma aprendizagem significativa.

Nesse sentido, as funcionalidades foram projetadas não apenas como operações técnicas, mas como mecanismos de apoio ao processo de ensino-aprendizagem. A Tabela 5 apresenta esse mapeamento, relacionando cada funcionalidade do sistema aos princípios pedagógicos correspondentes, conforme os requisitos estabelecidos no (XAVIER, 2024).

Ao incorporar essas diretrizes ao modelo funcional e pedagógico, o TRUEBLE passa a configurar-se não apenas como uma solução técnica aprimorada em relação às versões anteriores, mas como um ambiente educacional digital coerente, integrado e pedagogicamente consistente, capaz de promover uma experiência de aprendizagem mais contextualizada e significativa.

Tabela 5 - Relação entre Requisitos do TRUEBLE e Requisitos Pedagógicos do EduCatalog

RF	Requisitos EduCatalog Associados
RF01	RG01 (Segurança no acesso)
RF02	RP03 (Liberdade de navegação), RP07 (Permitir exploração)
RF03	RP12 (Interação em grupo), RP21 (Acompanhar desempenho), RG06 (Registro e dados)
RF04	RP12 (Interação social), RP11 (Aprendizagem colaborativa)
RF05	RP21 (Acompanhamento de desempenho), RG06 (Controle de dados)
RF06	RP16 (Aprendizagem ativa), RP10 (Estimular soluções múltiplas)
RF07	RP15 (Permitir autoria e construção), RP16 (Aprendizagem ativa), RP10 (Reflexão e crítica)
RF08	RP13 (Feedback individual), RP14 (Feedback construtivo), EP61 (Feedback imediato)
RF09	RP10 (Espírito crítico), RP16 (Produção ativa), RP15 (Reflexão sobre processo)
RF10	RP21 (Acompanhamento do desempenho), RP15 (Reflexão metacognitiva)
RF11	RP01 (Estruturação do conteúdo), EP14 (Hierarquização — Ausubel)
RF12	RP21 (Autoavaliação e acompanhamento), RP15 (Metacognição)
RF13	RP02 (Qualidade do conteúdo), RP01 (Organização do conteúdo), RP17 (Curadoria de materiais)
RF14	RP02 (Qualidade dos materiais), RP17 (Curadoria), RP10 (Pensamento crítico)
RF15	RP01 (Sequenciação), RP02 (Coerência pedagógica), RP21 (Acompanhamento)
RF16	RP13 (Feedback individual), RP14 (Feedback construtivo), RP10 (Reflexão), RP16 (Aprendizagem ativa)
RF17	RP21 (Acompanhamento contínuo), RG06 (Estatísticas), RP13 (Feedback individual)

### 5.5.2. REQUISITOS NÃO FUNCIONAIS

Além dos requisitos funcionais, a reengenharia do TRUEBLE incluiu a definição de novos Requisitos Não Funcionais (RNFs), que descrevem características de qualidade relacionadas à usabilidade e à experiência do usuário (PRESSMAN; MAXIM, 2016). Em aplicações educacionais, fatores como tempo de resposta, clareza visual e coerência de interface exercem influência direta sobre a eficácia pedagógica da ferramenta.

A Tabela 6 apresenta os RNFs consolidados, que abrangem aspectos como feedback imediato, validação de fórmulas, consistência visual e desempenho. Esses atributos asseguram que o aplicativo mantenha funcionamento estável e previsível em dispositivos móveis, favorecendo uma experiência de aprendizagem fluida e significativa.

Tabela 6 - Novos Requisitos Não Funcionais (RNF) do TRUEBLE

ID	Nome do Requisito	Descrição do Atributo de Qualidade	Módulo
RNF01	Feedback Imediato e Formativo	O sistema deve fornecer retorno instantâneo e compreensível após as ações do usuário, com indicações claras de acertos e erros, estimulando a reflexão e o reestudo.	Geral
RNF02	Validação Preventiva de Fórmulas	Antes de gerar a tabela-verdade, o sistema deve validar a sintaxe das fórmulas e apresentar mensagens de erro claras e instrutivas.	Construir
RNF03	Mensagens de Erro Instrutivas	As mensagens devem indicar a causa do problema e sugerir formas de correção, minimizando frustrações e apoiando o aprendiz.	Construir
RNF04	Teclado com Operadores Lógicos	O sistema deve disponibilizar um teclado virtual contendo os principais símbolos lógicos ( $\wedge$ , $\vee$ , $\rightarrow$ , $\neg$ , etc.), facilitando a digitação e reduzindo erros.	Construir
RNF05	Consistência Visual e Interativa	A interface deve manter padrões de ícones, cores e comportamento entre os módulos, assegurando previsibilidade e fluidez de uso.	Geral
RNF06	Tour Guiado Inicial	No primeiro uso, o aplicativo deve apresentar um tutorial breve que oriente a navegação e introduza as principais funcionalidades.	Geral
RNF07	Compatibilidade Mobile (Android/iOS)	O aplicativo deve operar corretamente em dispositivos móveis Android e iOS, garantindo estabilidade, usabilidade e adequação ao ambiente mobile.	Geral
RNF08	Desempenho e Tempo de Resposta	As ações do usuário devem ser processadas sem atrasos perceptíveis; operações como geração e verificação de tabelas devem ser concluídas rapidamente.	Geral

Esses requisitos reforçam o compromisso com a construção de um ambiente educacional conforme as boas práticas recomendadas na engenharia de software edu-

cacionalo ao valorizar dimensões qualitativas da experiência de aprendizagem (SOMMERVILLE, 2019).

### 5.5.3. ALINHAMENTO ENTRE REQUISITOS E DIRETRIZES DE UM AVA EFICAZ

A redefinição dos requisitos do TRUEBLE foi conduzida tendo como referência diretrizes pedagógicas reconhecidas para o desenvolvimento de Ambientes Virtuais de Aprendizagem (AVAs) eficazes. De acordo com Martins, Tiziotto e Cazarini 2016, um AVA deve promover a integração equilibrada entre tecnologias digitais e processos educacionais, oferecendo recursos que apoiem a mediação ativa, a participação do estudante, o feedback contínuo, a organização estruturada dos conteúdos e a personalização da aprendizagem. Nessa perspectiva, um AVA não é apenas um repositório de materiais, mas um sistema interativo que articula acompanhamento, experimentação, orientação e reflexão.

As relações entre os novos RFs (4) e as diretrizes pedagógicas estão apresentadas na Tabela 7, enquanto os RNFs (6) foram associados às diretrizes correspondentes na Tabela 8. Esses mapeamentos tornam explícita a preocupação em estruturar o TRUEBLE como um ambiente digital orientado à aprendizagem significativa.

Tabela 7 - Relação entre RF do TRUEBLE e Diretrizes de um AVA Eficaz

RF	Diretrizes de AVA Eficaz Associadas
RF03	D2 – Gerenciamento de turmas
RF04	D2 – Organização de participantes; D4 – Interação professor–aluno
RF05	D2 – Gerenciamento de participantes
RF06	D6 – Aprendizagem ativa; D8 – Feedback imediato
RF07	D6 – Aprendizagem ativa; D7 – Autoria; D9 – Feedback formativo
RF08	D8 – Feedback imediato; D9 – Feedback formativo
RF09	D9 – Feedback formativo; D10 – Autoavaliação
RF10	D3 – Acompanhamento do desempenho; D10 – Reflexão
RF11	D1 – Sequenciação do conteúdo
RF12	D3 – Acompanhamento do progresso; D10 – Autoavaliação
RF13	D1 – Estruturação de conteúdo; D4 – Mediação docente
RF14	D1 – Sequenciação; D9 – Feedback formativo
RF15	D1 – Sequenciação pedagógica; D3 – Acompanhamento
RF16	D6 – Aprendizagem ativa; D8 – Feedback imediato; D9 – Formativo; D10 – Reflexão
RF17	D3 – Acompanhamento do desempenho

Tabela 8 - Relação entre RNF do TRUEBLE e Diretrizes de um AVA Eficaz

RNF	Diretrizes de AVA Eficaz Associadas
RNF01	D8 – Feedback imediato; D9 – Feedback formativo
RNF02	D9 – Feedback formativo; D13 – Usabilidade
RNF03	D9 – Feedback formativo; D13 – Usabilidade
RNF04	D13 – Usabilidade / redução de carga cognitiva
RNF05	D12 – Consistência visual; D13 – Usabilidade
RNF06	D11 – Tutoriais e ajuda; D13 – Usabilidade
RNF08	D13 – Usabilidade

A associação seletiva dos requisitos às diretrizes reforça o compromisso metodológico deste estudo, ao demonstrar que cada decisão técnica está intencionalmente vinculada a um propósito formativo. Assim, o TRUEBLE passa a configurar-se como um ambiente digital coerente, participativo e pedagogicamente orientado, capaz de apoiar a autonomia do estudante, qualificar o processo de aprendizagem e proporcionar interações consistentes, claras e formativas.

## 5.6. PROTOTIPAÇÃO E REFINAMENTO DAS SOLUÇÕES

O processo de reengenharia introduziu um conjunto de novas funcionalidades com o propósito de superar a fragmentação observada na versão inicial do sistema, visando reposicioná-lo como um ambiente educacional coeso e integrado. Essa mudança de orientação permitiu articular, de forma sistemática, conteúdos instrucionais, mecanismos de mediação didática, ferramentas de exercício, recursos de acompanhamento do desempenho e espaços de interação entre professores e estudantes.

Para operacionalizar essa reorganização estrutural, foram desenvolvidos protótipos de alta fidelidade no Figma, os quais possibilitaram a visualização, a experimentação e a iteração contínua de fluxos completos de uso. Esse processo buscou assegurar consistência visual, clareza na navegação, organização hierárquica adequada das informações e alinhamento às diretrizes pedagógicas previamente estabelecidas. Nas subseções a seguir, apresentam-se os principais refinamentos incorporados.

A Figura 5 apresenta a nova tela de acesso, concebida segundo a lógica de um Ambiente Virtual de Aprendizagem (AVA). Essa interface passa a oferecer três modos de entrada, criação de conta, login e acesso como convidado, permitindo que o usuário inicie sua jornada em diferentes níveis de engajamento. O redesign incorpora validações visuais claras, mecanismos de prevenção de erros e feedback imediato, reduzindo barreiras iniciais e fortalecendo a confiança do estudante no uso do sistema.

Os perfis de acesso do ambiente são aluno e professor, que estruturam a interação pedagógica. O aluno utiliza o sistema para estudar e realizar atividades, enquanto o professor orienta, acompanha e administra suas turmas. Além disso, há a opção de entrada como convidado, destinada à exploração do sistema com acesso limitado.

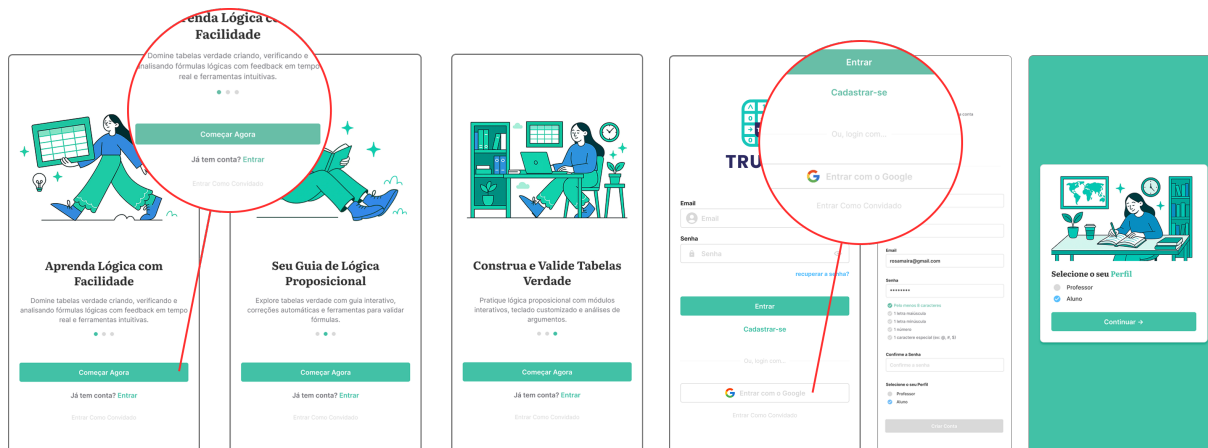


Figura 5 - Nova Tela de Acesso

Após o primeiro acesso, o ambiente apresenta um tour guiado, ilustrado na Figura 6, que introduz as principais funcionalidades de forma direta e objetiva. Esse recurso passa a estruturar a entrada do estudante no AVA, reduzindo a carga cognitiva inicial e ampliando a autonomia para navegação e exploração.

As dashboards foram reprojatadas para comunicar, de forma simples e objetiva, o papel desempenhado pelo usuário no ambiente. A dashboard do convidado, apresentada na Figura 7, evidencia esse nível de acesso restrito ao exibir determinadas funcionalidades desabilitadas, acompanhadas de mensagens explicativas que contex-

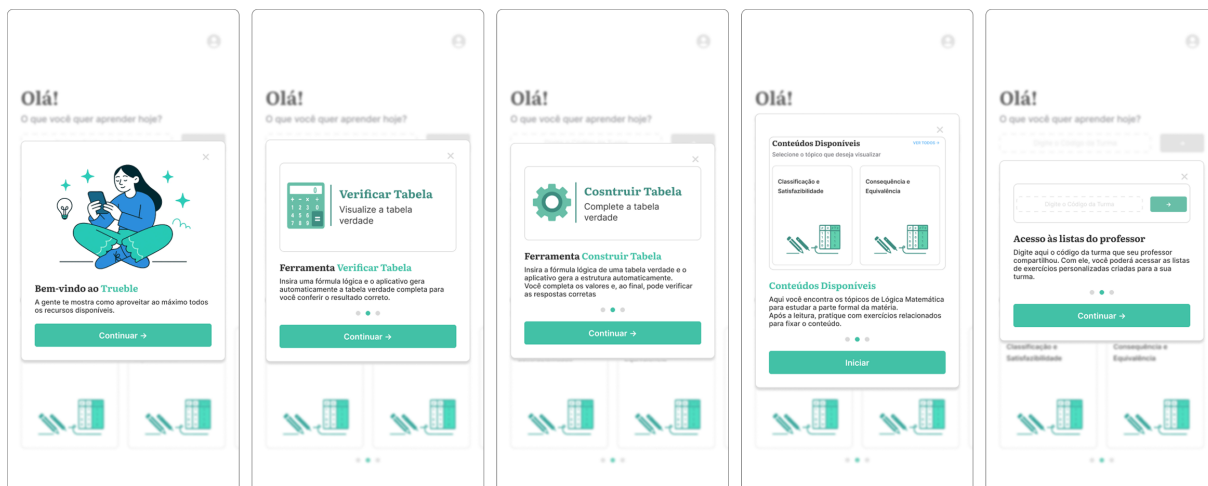


Figura 6 - Tour Guiado

tualizam e justificam suas limitações.

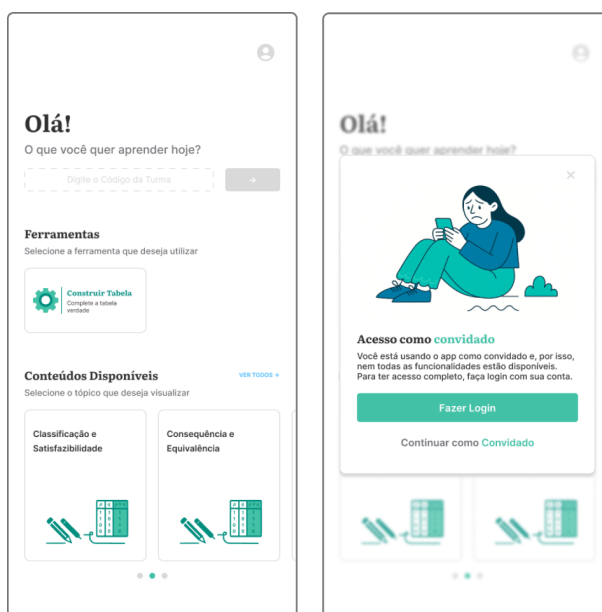


Figura 7 - Dashboard Convidado

A Figura 8 apresenta a dashboard do estudante, a partir da qual é possível ingressar em turmas mediante o código fornecido pelo professor. A validação desse código é realizada automaticamente e, em caso de inconsistência, o sistema informa de forma explícita o motivo da falha. Após a vinculação, a seção “Próximas Entregas” passa a exibir as atividades disponibilizadas para a respectiva turma.

O antigo “Módulo Aprender” foi reformulado e deu origem à nova seção “Conteúdos Disponíveis” (Figura 9). Nessa nova organização, os tópicos de lógica proposicional passam a ser apresentados em cards temáticos que reúnem explicações teóricas, exemplos e exercícios de fixação. Cada card apresenta um indicador de progresso, possibilitando ao estudante acompanhar de forma clara e imediata o próprio avanço.

O redesign buscou reduzir a sensação de densidade textual, aprimorando a legi-

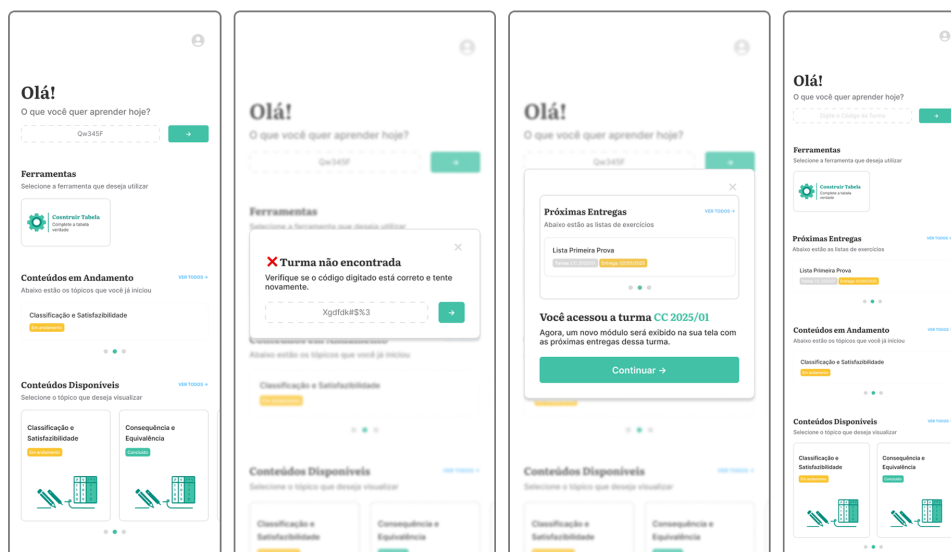


Figura 8 - Dashboard Aluno

bilidade e eliminando elementos visuais que anteriormente sobrecarregavam a experiência cognitiva, resultando em uma navegação mais fluida e favorável ao aprendizado.

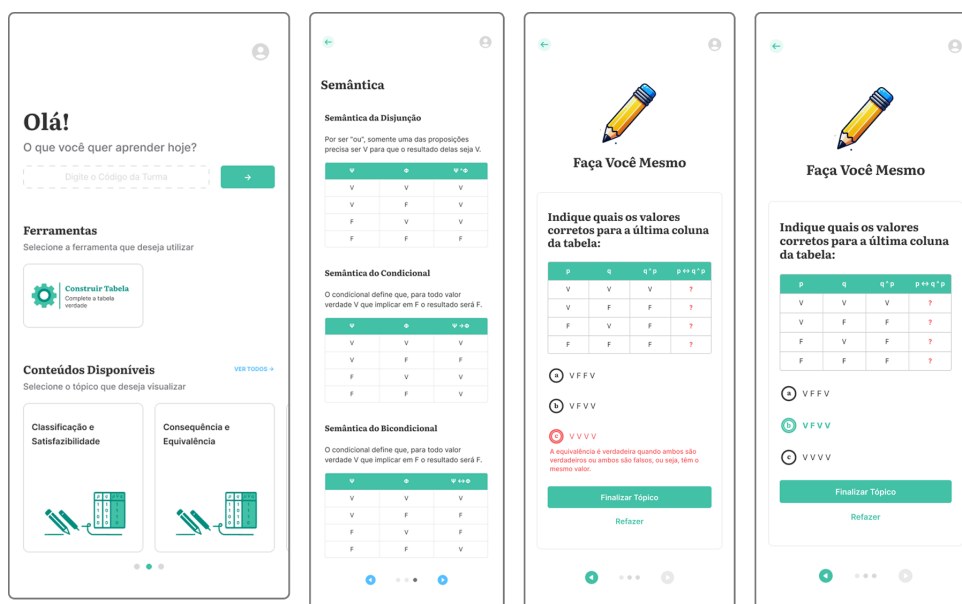


Figura 9 - Versão Reformulada do Módulo Aprender

Na área de ferramentas, mantém-se a funcionalidade “Construir Tabela” (Figura 10), equivalente ao antigo módulo “Construir”. Nessa ferramenta, o usuário insere uma fórmula lógica, e o sistema gera automaticamente a tabela verdade correspondente, estruturando colunas, linhas e células de acordo com a complexidade da expressão fornecida. Um teclado personalizado reúne os operadores lógicos necessários, facilitando a digitação e reduzindo erros de entrada.

Além disso, um guia introdutório apresenta instruções claras sobre o funcionamento da ferramenta, incluindo orientações para a navegação horizontal e vertical. Após o preenchimento da tabela, o sistema destaca em verde as células corretas e

em vermelho as incorretas, oferecendo feedback imediato e favorecendo processos de aprendizagem ativa e autorregulação.

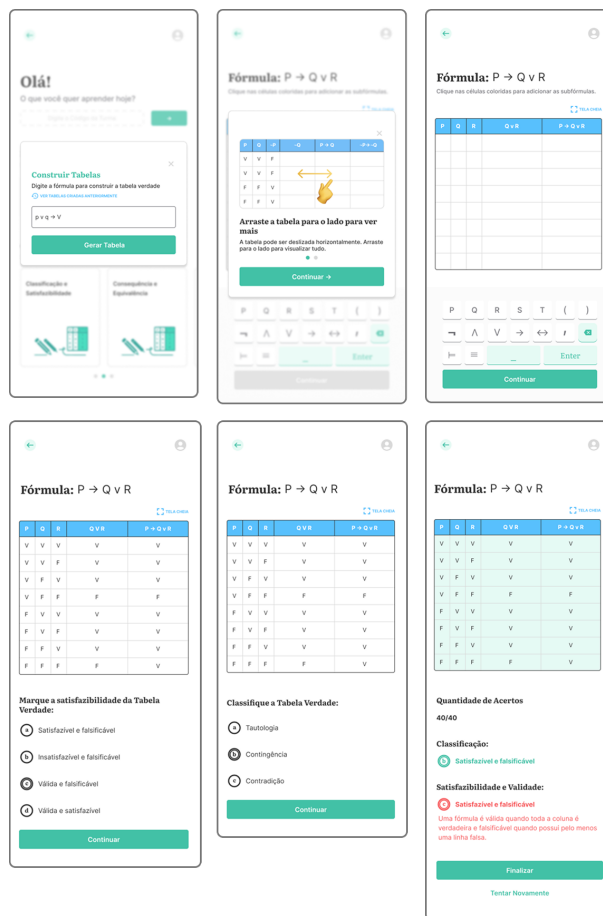


Figura 10 - Versão Reformulada do Módulo Construir

A dashboard do professor, ilustrada na Figura 11, introduz um conjunto de recursos totalmente novos, inexistentes na versão inicial do TRUEBLE e fundamentais para consolidar sua identidade como ambiente de aprendizagem interativo e mediado.

Essa interface concentra o acesso às principais ferramentas pedagógica. gestão de turmas, criação de atividades e acompanhamento de desempenho, permitindo ao docente administrar o processo de aprendizagem de forma centralizada. Ao reunir essas funcionalidades em um único espaço, o ambiente passa a oferecer uma experiência clara, funcional e alinhada às exigências de mediação docente próprias de um AVA.

A ferramenta “Verificar Tabela”, apresentada na Figura 12, retoma uma ideia presente nas discussões iniciais do projeto, mas que, na proposta original, seria disponibilizada indistintamente para todos os usuários. Com a reorganização das funções por perfil, identificou-se que essa funcionalidade atende de maneira mais precisa às necessidades do professor. Assim, a geração automática de tabelas verdade preenchidas tornou-se uma ferramenta de uso exclusivo docente, destinada a apoiar tarefas como a elaboração de materiais didáticos e a correção de atividades.

A funcionalidade “Criar Turma”, mostrada na Figura 13, também representa uma ampliação significativa, uma vez que o TRUEBLE original não previa qualquer meca-

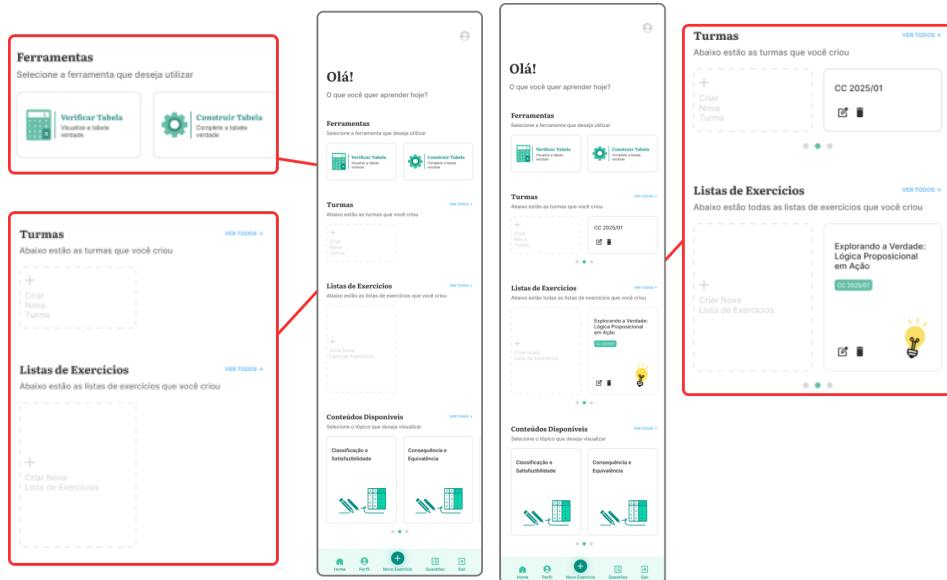


Figura 11 - Dashboard Professor

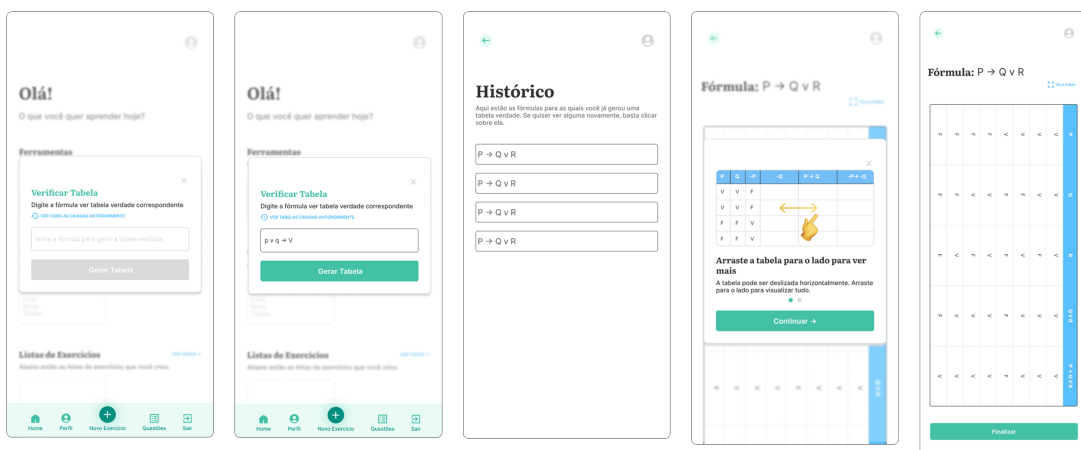


Figura 12 - Ferramenta Verificar Tabela

nismo de organização formal de estudantes.

Com o redesign, o professor pode criar turmas, definir nomes e compartilhar códigos identificadores com os alunos, permitindo o ingresso estruturado destes no ambiente. Essa funcionalidade introduz no aplicativo uma dimensão própria de um AVA, possibilitando acompanhar grupos, organizar fluxos de aprendizagem e promover relações pedagógicas diretamente mediadas pelo docente.

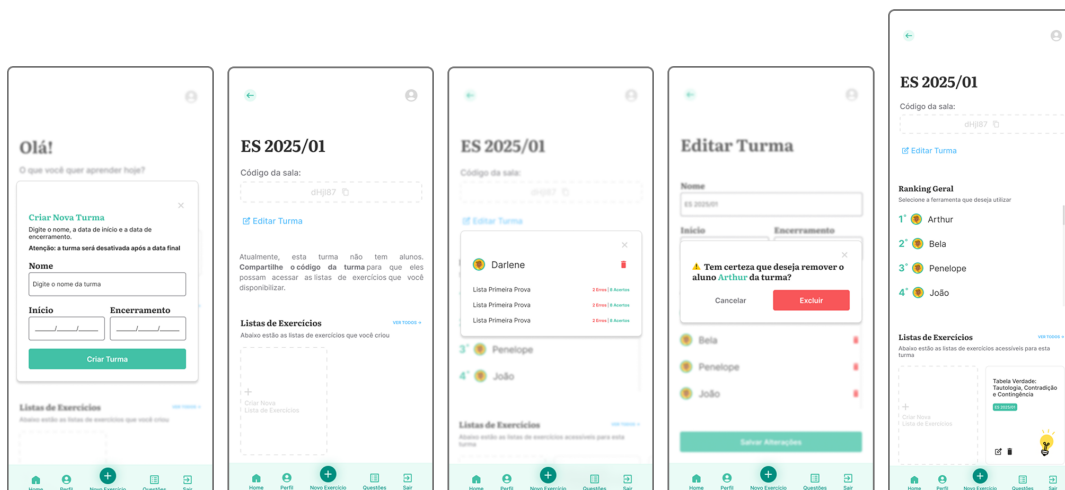


Figura 13 - Funcionalidade Criar Turma

A funcionalidade “Criar Lista”, apresentada na Figura 14, integra outra camada inédita de expansão do sistema. Na versão original, não havia qualquer instrumento que permitisse ao professor selecionar, estruturar ou disponibilizar atividades de forma sequenciada aos alunos. O novo design permite criar listas de exercícios organizadas conforme tipos de questão, nível de complexidade e objetivos educacionais.

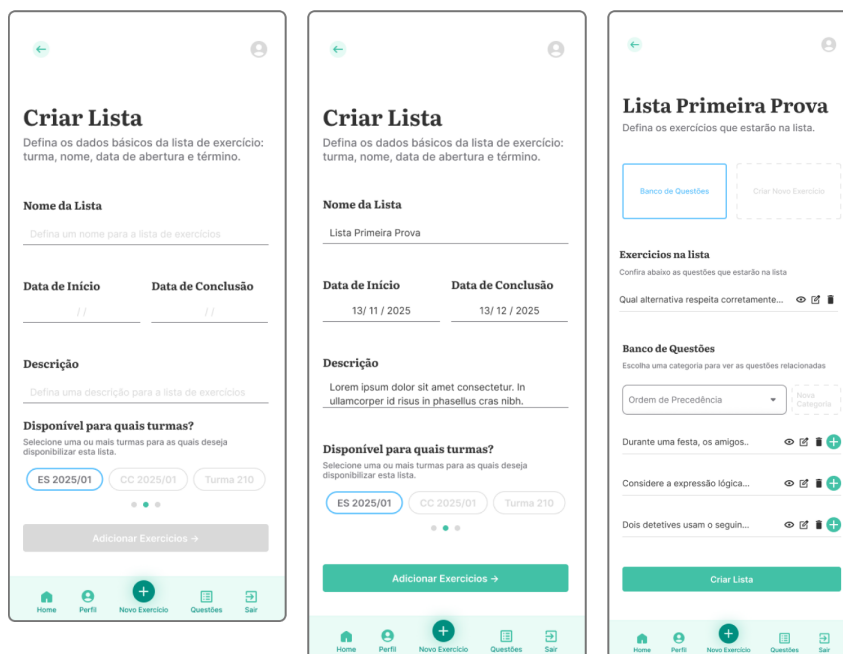


Figura 14 - Funcionalidade Criar Lista de Exercícios

As funcionalidades relacionadas à criação de exercícios e ao banco de questões, representadas nas Figuras 15 e 16, oferecem ao professor um conjunto mais robusto e articulado de ferramentas autorais. O ambiente permite criar exercícios de múltipla escolha ou completar tabela verdade, editar itens já existentes e organizar o banco segundo categorias temáticas. Com essa ampliação, o banco de questões consolida-se como uma base estruturada de apoio à prática docente, otimizando o processo de elaboração de atividades.

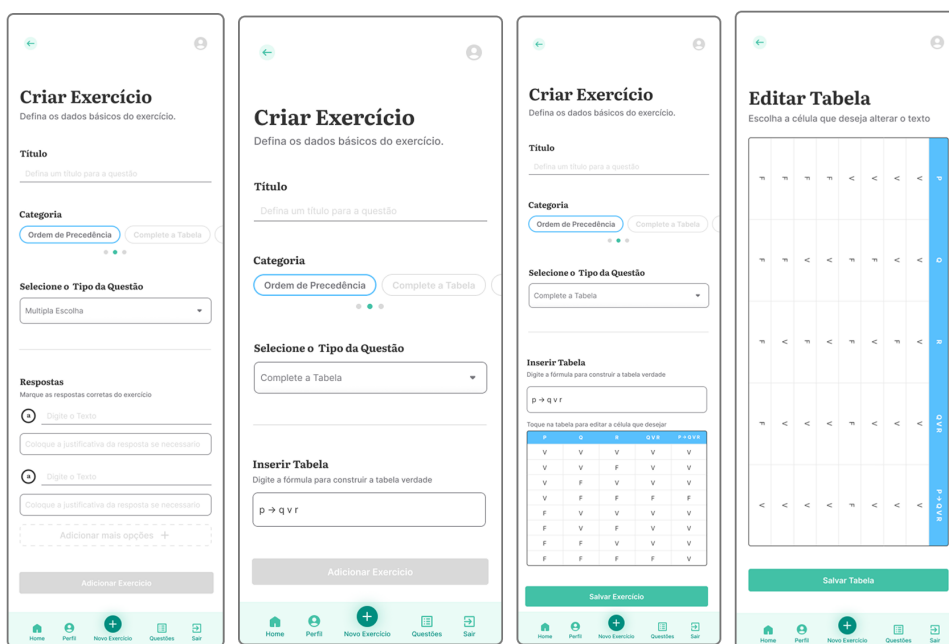


Figura 15 - Funcionalidade Criar Exercício

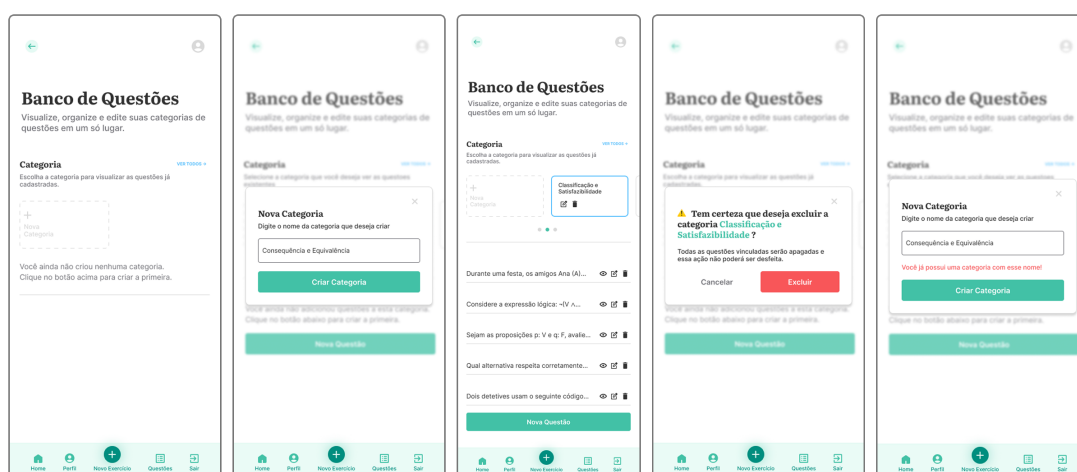


Figura 16 - Funcionalidade Banco de Questões

Por fim, o conjunto de aprimoramentos descritos evidencia que o processo de prototipação ultrapassou uma atualização meramente estética, configurando-se como uma etapa decisiva de reconcepção pedagógica e funcional do TRUEBLE. Os protótipos de alta fidelidade permitiram antecipar problemas, validar fluxos, alinhar requisitos e consolidar um ambiente mais intuitivo e coerente.

## 6. AVALIAÇÃO E RESULTADOS

Para avaliar comparativamente a versão antiga, denominada A, e a nova interface, denominada B, do módulo “Aprender” do TRUEBLE, foi realizado um teste A/B com delineamento cruzado e contrabalanceamento da ordem de uso, com o objetivo de reduzir efeitos de aprendizagem e de familiarização entre as versões. Assim, os participantes interagiram com ambas as interfaces em ordens alternadas: um grupo utilizou primeiro a versão A e, em seguida, a versão B, enquanto o outro realizou o percurso inverso. As sessões ocorreram presencialmente e foram moderadas, com observação direta do comportamento dos usuários durante a execução de um roteiro padronizado de tarefas (QUINA et al., 2023; PAVLOVICH; KIRYNOVICH, 2021).

A amostragem foi intencional e composta por estudantes de graduação em Ciência da Computação e Engenharia de Software da UNIPAMPA, com familiaridade com conteúdos introdutórios de lógica. Participaram oito estudantes, distribuídos em dois grupos de quatro. Como critérios de inclusão, considerou-se estar matriculado(a) ou ter concluído a disciplina de Lógica Matemática. Todos os participantes concordaram voluntariamente em participar do estudo e assinaram o Termo de Consentimento Livre e Esclarecido (TCLE). A caracterização da amostra, obtida por meio do formulário de registro de perfil, está sintetizada na Tabela 9.

Tabela 9 - Perfil da amostra a partir do formulário de registro (n=8).

Pergunta	Respostas (n %)
Curso de graduação	Ciência da Computação: 4 (50%) Engenharia de Software: 4 (50%)
Faixa etária	18–20 anos: 3 (37,5%) 21–23 anos: 4 (50%) 24–26 anos: 1 (12,5%)
Gênero	Masculino: 6 (75%) Feminino: 2 (25%)
Conhecimento em lógica (autoavaliação)	Básico: 1 (12,5%) Intermediário: 7 (87,5%)
Frequência de uso de ferramentas digitais para estudar	Sempre: 4 (50%) Frequentemente: 3 (37,5%) Às vezes: 1 (12,5%)
Facilidade de encontrar conteúdos digitais de qualidade	Difícil: 4 (50%) Razoavelmente fácil: 4 (50%)
Qualidade dos materiais digitais encontrados	Razoável: 8 (100%)
Ferramentas usadas para estudar lógica <sup>1</sup>	YouTube (vídeos explicativos): 8 (100%) Livros ou PDFs digitais: 7 (87,5%) Plataformas de ensino: 1 (12,5%) Sites de exercícios interativos: 1 (12,5%) Grupos de estudo online: 1 (12,5%)

No início de cada sessão, após o preenchimento do formulário de registro de perfil, os participantes interagiram com a primeira versão do módulo conforme a alocação em seu grupo. A sessão seguiu um conjunto de tarefas que simulava um fluxo realista de estudo: (1) acessar o TRUEBLE para iniciar a exploração do módulo — na versão A, o acesso ocorreu no modo padrão, e na versão B, no modo convidado; (2) localizar

o tópico de semântica; (3) ler o conteúdo instrucional e explicar o que ele ensina; (4) sair do tópico e retornar ao tópico de semântica; (5) resolver o exercício relacionado ao tópico; e (6) refazer o mesmo exercício. Ao término do uso de cada versão, os participantes responderam ao questionário pós-tarefa correspondente e, em seguida, repetiram o mesmo procedimento na segunda versão, permitindo comparação direta entre as interfaces.

Ao término do uso de cada versão, os participantes responderam ao questionário pós-tarefa correspondente. Em seguida, repetiram o mesmo procedimento na segunda versão e responderam novamente ao questionário, permitindo comparação direta entre as interfaces. As perguntas do questionário pós-tarefa estão descritas na Tabela 10.

Tabela 10 - Perguntas do questionário pós-tarefa aplicado após a versão A e repetido após a versão B.

Item	Pergunta
Q01	Com pouco tempo de uso, consegui entender como o aplicativo funciona.
Q02	Durante o uso, o funcionamento do aplicativo estava claro.
Q03	O design da interface facilitou minha concentração no conteúdo.
Q04	Foi fácil localizar e retornar ao conteúdo que eu procurava.
Q05	As instruções de cada exercício estavam claras.
Q06	Senti-me seguro(a) ao interagir com os exercícios.
Q07	Foi fácil refazer o exercício após uma resposta incorreta.
Q08	Os rótulos, ícones e botões eram legíveis e autoexplicativos.
Q09	O conteúdo foi apresentado de forma clara.
Q10	Os exemplos presentes no material me ajudaram a entender os conceitos.
Q11	Sinto que o aplicativo pode ser utilizado como suporte para o estudo de conteúdos sobre lógica matemática.
Q12	No geral, eu gostei desta versão do módulo.
Q13	Você encontrou algo que tenha sido confuso, frustrante ou pouco claro. Se sim, descreva.
Q14	Você tem alguma sugestão para melhorar a experiência de aprendizagem.

O instrumento reuniu itens fechados em escala Likert de cinco pontos, Discordo totalmente, Discordo, Neutro, Concordo e Concordo totalmente, aplicados de Q01 a Q12, além de duas questões abertas (Q13 e Q14) para registro de comentários e sugestões (SOUTH et al., 2022). Na sequência, os resultados do teste A/B são apresentados e discutidos separadamente para cada grupo, a partir das medianas dos itens em escala Likert e da síntese das respostas discursivas (SOUTH et al., 2022; QUINA et al., 2023).

### 6.1. GRUPO 1 – VERSÃO ANTIGA SEGUIDA DA NOVA

O GRUPO 1 utilizou primeiro a versão antiga, denominada A, e em seguida a versão nova, denominada B. A Figura 17 apresenta as medianas por item das questões fechadas do questionário (Q01 a Q12) em cada versão. Considerando esses itens, a mediana do grupo foi 4,00 na versão A e 5,00 na versão B, indicando melhor avaliação da versão nova em todos os aspectos analisados. Os maiores ganhos ocorreram em Q06, associado à segurança ao interagir com os exercícios, e em Q03, Q07 e Q08, relacionados à concentração favorecida pelo design, à facilidade para refazer exercícios e à clareza de rótulos e botões. Também se observa aumento expressivo em Q12, que sintetiza a avaliação geral do módulo.

Em relação às questões discursivas Q13 e Q14, as respostas após o uso da versão A indicaram dificuldades associadas à ausência de explicações para símbolos na interface, à confusão com a ordem e com as cores de botões e à falta de clareza no

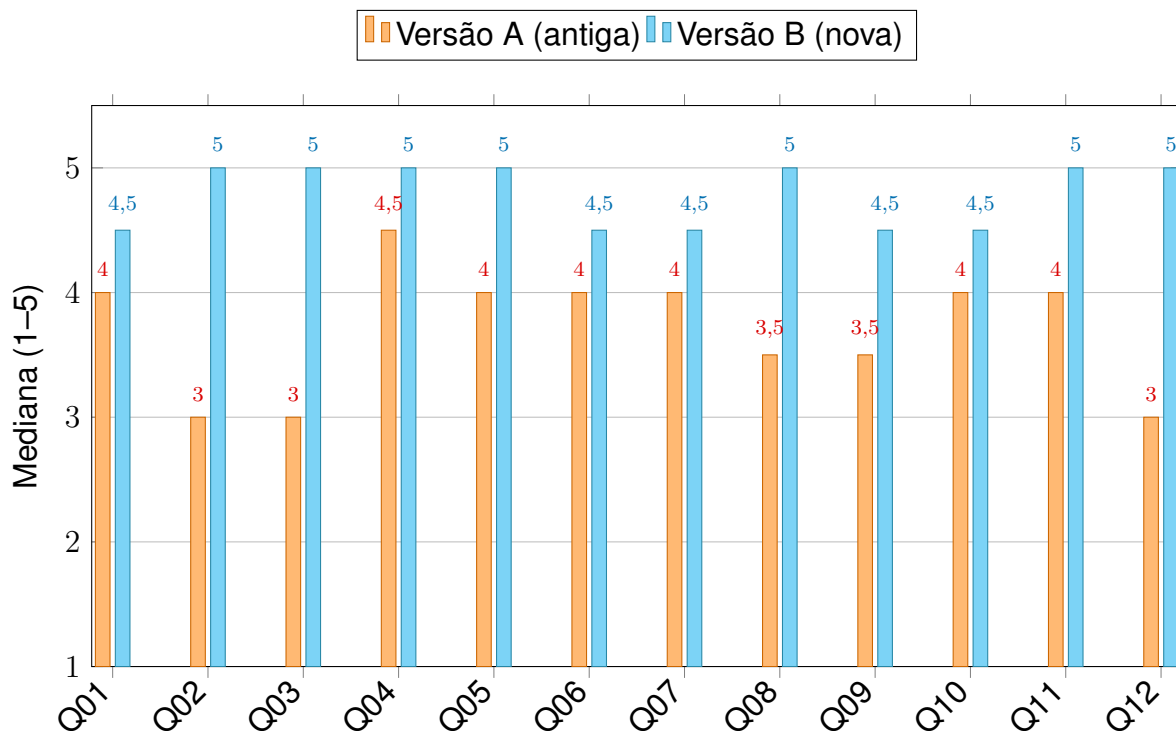


Figura 17 - GRUPO 1 — comparação das **medias** por item entre as versões A (antiga) e B (nova).

feedback após erro. Como sugestões, os participantes mencionaram tornar a experiência mais interativa, incluir mais exemplos e aprimorar o retorno de acerto e erro.

Após o uso da versão B, as respostas relataram menos problemas e destacaram a experiência geral mais positiva. As sugestões concentraram-se em adicionar *tooltips* para explicar símbolos, incluir recursos como vídeos ou alternativas de apresentação do conteúdo, ampliar a quantidade de exercícios e variar a ordem em que eles aparecem. Em conjunto, os relatos reforçam percepção de maior clareza e consistência na navegação na versão nova.

## 6.2. GRUPO 2 – VERSÃO NOVA SEGUIDA DA ANTIGA

GRUPO 2 utilizou primeiro a versão nova, denominada B, e em seguida a versão antiga, denominada A. A Figura 18 apresenta as medianas por item das questões fechadas do questionário (Q01 a Q12) nas duas versões. Considerando esses itens, a mediana geral do grupo foi 5,00 na versão B e 3,75 na versão A, indicando melhor avaliação da versão nova em todos os itens. As maiores diferenças ocorreram em Q02 e Q09, associadas à clareza do funcionamento e à clareza do conteúdo, respectivamente. Também houve contraste relevante em Q04 e Q07, relacionados à localização e retorno ao conteúdo e à facilidade de refazer exercícios após erro.

Em relação às questões discursivas Q13 e Q14, as respostas após o uso da versão B registraram dificuldades pontuais, sem comprometer a avaliação geral positiva. Foram mencionados momentos de dúvida em um trecho do conteúdo, um caso em que um exercício foi marcado como incorreto embora o estudante considerasse sua resposta correta e um episódio de navegação não intencional para outra área do aplicativo, seguido de demora para retornar ao fluxo principal. Entre as sugestões,

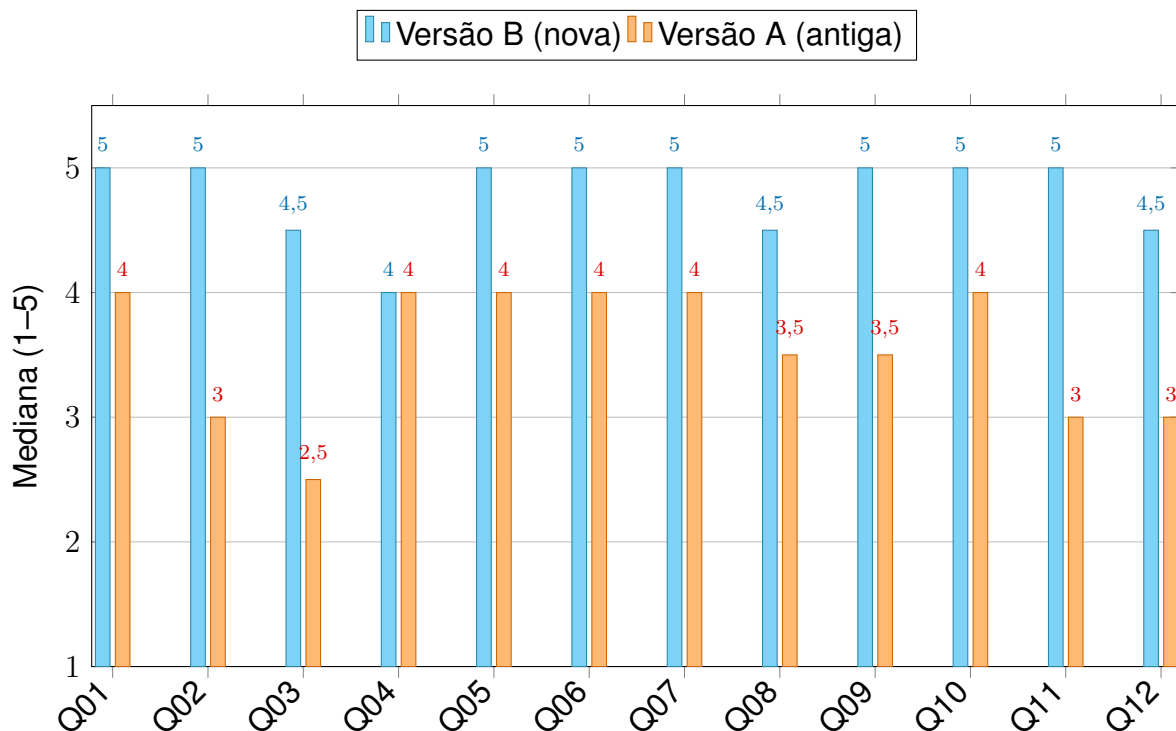


Figura 18 - GRUPO 2 — comparação das **medias** por item entre as versões B (nova) e A (antiga).

destacou-se a ampliação da quantidade de exercícios e a implementação de um modo escuro.

Após o uso da versão A, os relatos foram mais críticos e enfatizaram limitações de navegação e experiência geral. Os participantes mencionaram frustração com o layout, menor interatividade e dificuldade para sair de exercícios ou refazer etapas sem reiniciar o percurso, além de sugerirem a modernização da interface e a inclusão de recursos mais envolventes.

De modo geral, os resultados indicam preferência consistente pela versão B, independentemente da ordem de uso. A Figura 19 sintetiza as medianas gerais das avaliações por versão, comparando os dois grupos e o resultado combinado. Observa-se que a versão B apresentou mediana superior à versão A em ambos os grupos, reforçando o melhor desempenho global da interface reformulada.

As respostas discursivas reforçam esse padrão ao sugerirem que a versão B foi percebida como mais moderna e organizada, enquanto a versão A concentrou críticas relacionadas à navegação, interatividade e experiência geral. Em conjunto, essas evidências sustentam que as mudanças implementadas contribuíram para melhorar a usabilidade percebida e o apoio ao estudo no módulo “Aprender”, além de apontarem direções para refinamentos futuros a partir das sugestões dos participantes.

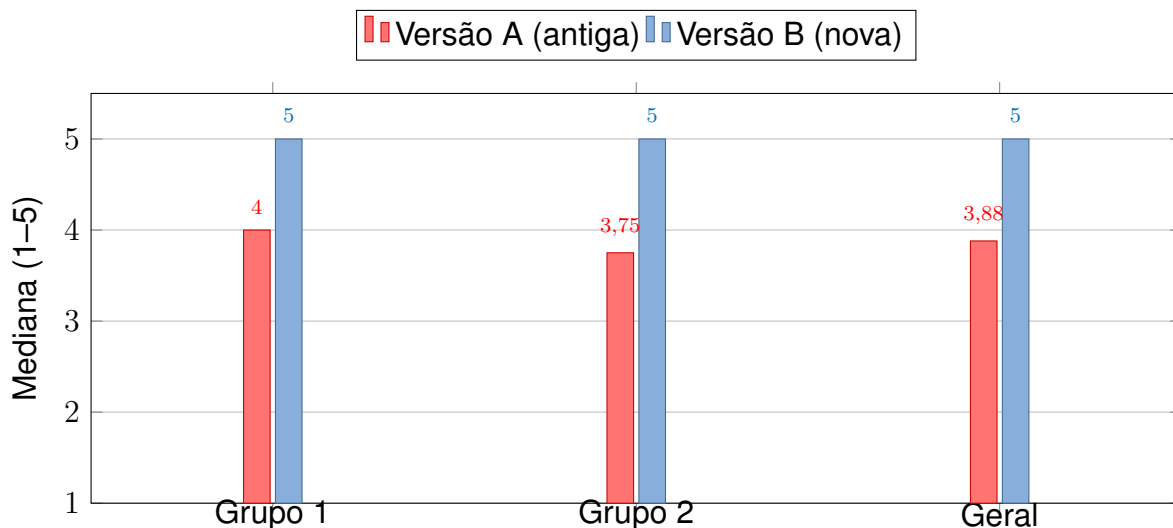


Figura 19 - Comparação das **medianas gerais** por grupo e resultado combinado entre as versões A e B.

## 7. CONSIDERAÇÕES FINAIS E TRABALHOS FUTUROS

Este trabalho teve como objetivo reestruturar o aplicativo educacional TRUEBLE, originalmente concebido como apoio ao ensino de lógica proposicional, de modo a reposicioná-lo como um Ambiente Virtual de Aprendizagem (AVA) mais coerente, integrado e alinhado a necessidades pedagógicas. Para isso, o percurso metodológico articulou análise documental de avaliações prévias, análise heurística baseada nas heurísticas de Nielsen, mapeamento sistemático de problemas e reconstrução da linha de base de requisitos, permitindo a reengenharia de requisitos funcionais e não funcionais e sua materialização em protótipos de alta fidelidade. Esse encadeamento garantiu coerência entre diagnóstico, decisões de redesign e diretrizes pedagógicas esperadas para AVAs.

Como resultado, o TRUEBLE evoluiu de uma ferramenta modular para um ecossistema mais estruturado, com reformulação da arquitetura informacional, redefinição de fluxos e diferenciação de perfis de usuário, incluindo aluno, professor e convidado, além da ampliação de funcionalidades voltadas à mediação docente, organização de turmas e atividades. No recorte avaliado, a seção Conteúdos Disponíveis, que corresponde à reformulação do antigo módulo “Aprender”, o experimento A/B com delineamento cruzado indicou preferência consistente pela versão reprojeta B, com média combinada superior de 4,65 em comparação à versão original A, com 3,32, independentemente da ordem de uso.

Embora os resultados sejam promissores, é importante reconhecer como limitações o tamanho amostral e o fato de a validação empírica ter sido concentrada em um único módulo, por decisão metodológica. Como trabalhos futuros, recomenda-se expandir a avaliação para as demais funcionalidades e perfis, incorporar melhorias sugeridas pelos participantes, como tooltips, variação e ampliação de exercícios, recursos multimodais como vídeos e modo escuro, e avançar para ciclos iterativos de implementação e testes em contexto real de disciplina. Em síntese, a reengenharia realizada consolidou diretrizes e evidências iniciais de que o TRUEBLE pode operar como um AVA mais usável e pedagogicamente consistente, fortalecendo a mediação

e o estudo de lógica proposicional.

Por fim, destaca-se que a versão atual do TRUEBLE foi apresentada no Concurso Integrado de Desenvolvimento de Soluções de Tecnologia e Objetos de Aprendizagem para a Educação (Apps.Edu) <sup>2</sup>, evento satélite do Congresso Brasileiro de Informática na Educação (CBIE), em novembro deste ano.

## REFERÊNCIAS

ARROJO, M. et al. Trueble: Desenvolvimento e avaliação de um app para o ensino de tabelas verdade. In: **XXXV Simpósio Brasileiro de Informática na Educação (SBIE)**. [S.l.]: SBC, 2024.

BARBOSA, S.; SILVA, B. **Interação Humano-Computador**. Elsevier Brasil, 2010. ISBN 9788535211207. Disponível em: <[https://books.google.com.br/books?id=qk0skwr\\_cewC](https://books.google.com.br/books?id=qk0skwr_cewC)>.

DIAS, B. de A.; FINGER, A. F. Aplicativos para o ensino-aprendizagem de lógica matemática: qual a melhor escolha? In: **Anais do XXVI Workshop de Informática na Escola (WIE 2020)**. Porto Alegre, RS, Brasil: Sociedade Brasileira de Computação (SBC), 2020. p. 111–120. Disponível em: <<https://sol.sbc.org.br/index.php/wie/article/view/12648>>.

MARTINS, D. de O.; TIZIOTTO, S. A.; CAZARINI, E. W. Ambientes virtuais de aprendizagem (avas) como ferramentas de apoio em ambientes complexos de aprendizagem (acas). **Revista Brasileira de Aprendizagem Aberta e a Distância**, v. 15, 2016. Disponível em: <<https://doi.org/10.17143/rbaad.v15i0.277>>.

MOURA, G.; POLTRONIERI, I.; FINGER, A. Trueble: Prototipação e avaliação do aplicativo para ensino de tabelas verdade. In: **XXXV Simpósio Brasileiro de Informática na Educação (SBIE)**. [S.l.]: SBC, 2024.

NIELSEN, J. **10 Usability Heuristics for User Interface Design**. Nielsen Norman Group, 2005. Acessado em maio de 2025. Disponível em: <<https://www.nngroup.com/articles/ten-usability-heuristics/>>.

PAVLOVICH, Y. G.; KIRYNOVICH, I. F. A/b testing as an effective instrument for adaptation of the user interface at the iterative model of developing applications for mobile devices. **Doklady BGUIR**, v. 19, n. 1, p. 30–36, 2021.

PRESSMAN, R. S.; MAXIM, B. R. **Engenharia de Software: uma abordagem profissional**. 8. ed. Porto Alegre: AMGH Editora, 2016.

PRODANOV, C. C.; FREITAS, E. C. de. **Metodologia do trabalho científico: métodos e técnicas da pesquisa e do trabalho acadêmico**. 2. ed. Novo Hamburgo: Feevale, 2013. [Recurso eletrônico].

QUINA, F. et al. A/b testing: A systematic literature review. 2023. ArXiv preprint.

SOMMERVILLE, I. **Engenharia de Software**. 10. ed. São Paulo: Pearson, 2019.

<sup>2</sup><[https://sol.sbc.org.br/index.php/cbie\\_estendido/article/view/38929](https://sol.sbc.org.br/index.php/cbie_estendido/article/view/38929)>

SOUTH, L. et al. Effective use of likert scales in visualization evaluations: A systematic review. **Computer Graphics Forum**, v. 41, n. 3, 2022. EuroVis 2022.

XAVIER, M. **EduCatalog – Catálogo de Ferramentas para Educação em Lógica**. 2024. Acesso em: fevereiro de 2024. Disponível em: <<https://mychelline.wixsite.com/educatalog>>.