

## Reconstrução de Aplicativo de Lógica Baseada na Reengenharia Funcional e Pedagógica

**Eduarda Sifuentes<sup>1</sup>, Emilly Dias<sup>1</sup>, Gabriel Tremain<sup>1</sup>,  
Guilherme Moura<sup>1</sup>, Ildevana Poltronieri<sup>1</sup>, Alice Finger<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>LabISE – Universidade Federal do Pampa (UNIPAMPA)  
Av. Tiarajú, 810, Ibirapuitã – Alegrete – RS – Brazil

eduardasifuentes.aluno, emillydias.aluno, gabrieltremain.aluno  
guilhermemoura.aluno, ildevanarodrigues,alicefinger@unipampa.edu.br

**Abstract.** This article presents the functional and pedagogical reengineering of the TRUEBLE application, aimed at teaching propositional logic. The proposal integrates principles from Virtual Learning Environments (VLEs), Nielsen's usability heuristics, and Human-Computer Interaction (HCI) guidelines. The methodology was based on an analysis of student evaluations, which revealed issues in the "Build" and "Learn" modules, including usability flaws, lack of didactic support, and interface clarity. Based on these findings, functional, non-functional, and pedagogical requirements were reformulated. The resulting system offers a more accessible, personalized, and educationally effective environment.

**Resumo.** Este artigo apresenta a reengenharia funcional e pedagógica do aplicativo TRUEBLE, voltado ao ensino de lógica proposicional. A proposta integra fundamentos dos Ambientes Virtuais de Aprendizagem (AVAs), heurísticas de usabilidade de Nielsen e diretrizes da Interação Humano-Computador (IHC). A metodologia baseou-se na análise de avaliações com estudantes, que identificaram deficiências nos módulos “Construir” e “Aprender”, especialmente em termos de usabilidade, suporte didático e clareza da interface. A partir desses achados, foram reformulados os requisitos funcionais, não funcionais e pedagógicos. Como resultado, o sistema passou a oferecer um ambiente mais acessível, personalizado e alinhado às necessidades de aprendizagem.

### 1. Introdução

O uso de ferramentas digitais tem se consolidado como uma estratégia para apoiar o ensino e a aprendizagem, especialmente em áreas que envolvem abstrações complexas, como a Lógica Matemática. Ambientes interativos, aplicativos educacionais e sistemas tutores têm sido empregados com o objetivo de tornar os conteúdos mais acessíveis, favorecer o engajamento dos estudantes e oferecer formas alternativas de mediação pedagógica [de Oliveira Martins et al. 2016]. Esses recursos, quando bem projetados, permitem não apenas a visualização concreta de conceitos abstratos, mas também a oferta de feedback imediato, personalização da aprendizagem e estímulo à autonomia do aluno.

O aplicativo TRUEBLE foi desenvolvido com o propósito de apoiar o ensino de lógica proposicional por meio da construção e análise de tabelas verdade em um ambiente

digital. Voltado especialmente a estudantes do ensino superior nas áreas de Computação, o ambiente visa tornar o aprendizado de conceitos abstratos mais acessível e interativo, utilizando uma interface gráfica que simula operações lógicas de maneira prática [Moura et al. 2024].

Estudos anteriores, conduzidos por meio de diferentes abordagens metodológicas, evidenciaram fragilidades significativas em sua estrutura [Moura et al. 2024, Arrojo et al. 2024]. Dentre os principais problemas levantados, destacam-se a carência de mediação didática, limitações no que tange à usabilidade, insuficiência de feedback formativo e rigidez nos fluxos de navegação. Essas deficiências afetam diretamente a experiência dos estudantes e comprometem o potencial pedagógico do ambiente digital.

Diante desse cenário, este artigo apresenta um processo de reengenharia dos requisitos do TRUEBLE, com foco nas dimensões funcionais, não funcionais e pedagógicas [Sommerville 2019]. A proposta visa reestruturar o sistema a partir das evidências coletadas nas avaliações anteriores [Moura et al. 2024, Arrojo et al. 2024], alinhando suas funcionalidades às heurísticas de usabilidade de Nielsen [Nielsen 2005] e aos princípios educacionais dos Ambientes Virtuais de Aprendizagem (AVAs) [de Oliveira Martins et al. 2016], especialmente aqueles relacionados à mediação ativa, à personalização e ao uso de múltiplas linguagens.

O artigo está organizado da seguinte forma: a Seção 2 apresenta os referenciais teóricos que fundamentam a reengenharia proposta; a Seção 3 descreve a metodologia adotada na análise das avaliações e na elicitação dos requisitos; a Seção 4 detalha os resultados da análise empírica e os principais problemas identificados nos módulos do sistema; por fim, a Seção 5 apresenta os requisitos funcionais, não funcionais e pedagógicos reformulados, e a Seção 7 discute as conclusões do estudo.

## 2. Fundamentação Teórica

O desenvolvimento de sistemas educacionais digitais exige a integração de fundamentos da engenharia de software, da pedagogia e da interação humano-computador (IHC). Nesse contexto, a reengenharia de requisitos surge como uma abordagem essencial para revisar, adaptar e modernizar sistemas existentes, de modo a alinhá-los às demandas atuais de usabilidade, funcionalidade e eficácia pedagógica.

Segundo [Sommerville 2019], a reengenharia de requisitos consiste em um processo sistemático de reavaliação e modificação dos requisitos de um sistema legado. Essa prática permite revisar funcionalidades existentes, corrigir deficiências e incorporar novos requisitos que atendam melhor aos objetivos de uso em contextos atualizados. A reengenharia atua, portanto, como ferramenta estratégica para revitalização de sistemas educacionais que não atendem plenamente às expectativas dos usuários.

No escopo dessa reestruturação, é fundamental compreender os tipos de requisitos que compõem um sistema. Requisitos funcionais descrevem os comportamentos específicos que o sistema deve executar, como autenticação de usuários, registro de respostas ou geração de relatórios. Eles representam as funcionalidades diretamente observáveis pelos usuários. Já os requisitos não funcionais definem atributos de qualidade do sistema, como tempo de resposta, acessibilidade, segurança, portabilidade e usabilidade. Esses requisitos, embora não relacionados a ações explícitas, impactam diretamente a experiência do usuário e a eficiência do sistema.

Para além dos aspectos funcionais e técnicos, destacam-se os requisitos pedagógicos, compreendidos como condições didáticas que orientam o sistema no apoio efetivo à aprendizagem. Tais requisitos reforçam o compromisso com a qualidade educacional da plataforma, incorporando princípios como feedback formativo, personalização, progressão conceitual, estímulo à autonomia e alinhamento com os objetivos educacionais. A presença desses elementos é essencial para que o sistema ultrapasse sua dimensão meramente operacional e se consolide como um instrumento de suporte significativo às necessidades de aprendizagem dos usuários [Economides 2008].

Nesse contexto, os Ambientes Virtuais de Aprendizagem (AVAs) configuram-se como ecossistemas digitais integrados, capazes de reunir conteúdos, mediação didática, comunicação e ferramentas avaliativas em um espaço único. Como destacam [de Oliveira Martins et al. 2016], AVAs bem estruturados vão além do simples fornecimento de conteúdo: eles promovem trajetórias personalizadas de aprendizagem, possibilitam o acompanhamento contínuo do progresso do aluno e incentivam sua autonomia.

Para que um AVA seja efetivo tanto do ponto de vista pedagógico quanto tecnológico, é necessário seguir diretrizes fundamentais, tais como: (a) mediação ativa do professor; (b) oferta de feedback contínuo e contextualizado; (c) adaptação do conteúdo ao perfil do estudante; (d) uso de múltiplas linguagens (visual, textual, simbólica); (e) garantia de acessibilidade e inclusão; (f) estímulo ao engajamento por meio de atividades práticas e colaborativas [de Oliveira Martins et al. 2016].

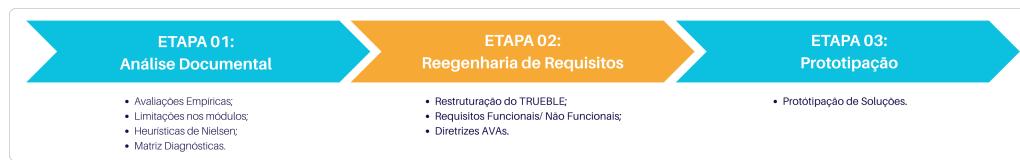
Simultaneamente, a Interação Humano-Computador (IHC) contribui com métodos e princípios para o design de interfaces que sejam compreensíveis, previsíveis e acessíveis [Barbosa and Silva 2010]. Um dos principais referenciais da área são as heurísticas de usabilidade propostas por Jakob Nielsen, que fornecem critérios para avaliação da qualidade da interface. Dentre as dez heurísticas clássicas, destacam-se: visibilidade do status do sistema (H1), correspondência entre o sistema e o mundo real (H2), controle e liberdade do usuário (H3), consistência e padrões (H4), prevenção de erros (H5), reconhecimento em vez de memorização (H6), flexibilidade e eficiência (H7), design estético e minimalista (H8), auxílio ao diagnóstico de erros (H9) e ajuda e documentação (H10) [Nielsen 2005].

### **3. Metodologia**

Este estudo configura-se como uma pesquisa aplicada, de natureza qualitativa, com abordagem descritiva e exploratória. Seu objetivo central é realizar a reengenharia funcional e pedagógica do aplicativo TRUEBLE, a partir da identificação de deficiências mapeadas em avaliações empíricas anteriores. As intervenções propostas foram fundamentadas em referenciais teóricos consolidados nas áreas de usabilidade e Ambientes Virtuais de Aprendizagem (AVAs) [de Oliveira Martins et al. 2016].

A condução metodológica foi estruturada em três etapas apresentadas na Figura 1. A primeira consistiu na análise documental de avaliações empíricas realizadas com discentes dos cursos de Engenharia de Software e Ciência da Computação da Universidade Federal do Pampa. Essa análise possibilitou identificar limitações críticas nos módulos “Aprender” e “Construir”, relacionadas a falhas de usabilidade, deficiências funcionais e lacunas na mediação pedagógica. Os problemas observados foram categorizados segundo as heurísticas de Nielsen [Nielsen 2005], com base em critérios de severidade, resultando

em uma matriz diagnóstica que subsidiou a proposta de reestruturação do sistema.



### **Figura 1. Etapas Metodológicas**

Na segunda etapa, os problemas identificados foram correlacionados com diretrizes para o desenvolvimento de AVAs, reforçando a necessidade de uma reconfiguração estrutural. Esse processo fundamentou a redefinição dos requisitos do TRUEBLE, buscando maior alinhamento entre as funcionalidades do sistema, os princípios pedagógicos subjacentes e a experiência do usuário. A reengenharia abrangeu tanto requisitos funcionais quanto não funcionais, com ênfase na criação de um ambiente mais coeso, acessível e eficaz do ponto de vista educacional.

A terceira e última etapa envolveu a prototipação das soluções com base nos requisitos reformulados. Foram desenvolvidos protótipos de alta fidelidade utilizando a ferramenta Figma, com o objetivo de representar visualmente as melhorias propostas. Esses protótipos permitiram antecipar os impactos das alterações na experiência do usuário, além de validar, em termos visuais e interacionais, a viabilidade técnica e conceitual das mudanças estruturais previstas.

#### 4. Análise das Avaliações do TRUEBLE

No projeto original do TRUEBLE, o módulo “Aprender” (Figura 2) foi concebido como uma ferramenta de apoio à assimilação dos fundamentos da lógica proposicional. Seu funcionamento previa, inicialmente, a exibição de conteúdos teóricos sobre lógica e em seguida, apresentar exercícios em formato de quiz relacionados ao material estudado. A intenção era articular leitura e prática, de modo a favorecer a fixação dos conceitos e oferecer aos estudantes um espaço interativo para testar seus conhecimentos, possibilitando uma autoavaliação contínua.



# TRUEBLE

TOQUE PARA INICIAR

MENU PRINCIPAL

Aprender Tabelas

Construir Tabelas

Verificar Tabelas

## Aprender Tabelas

### APRENDER TABELAS

ESCOLHA UMA DAS OPÇÕES DISPONÍVEIS

- Fórmula-Bem-Formada
- Ordem de Precedência
- Semântica
- Classificação e Satisfatibilidade
- Validação de Argumentos
- Consequência e Equivalência

### Consequência e Equivalência

#### Consequência e Equivalência Lógica

Com as tabelas verdade conseguimos verificar se uma fórmula é Consequência Lógica ou se existe uma Equivalência Lógica entre duas fórmulas.

#### Consequência Lógica

A Consequência é analisada, para todo valor verdade  $V$  um valor fórmula  $A$  (ou suas premissões) implica o valor verdade em  $V$  na fórmula  $B$ .

Fórmula:  $(\Psi \vee \Phi) \rightarrow X \vdash \Psi \rightarrow X$

$\Psi$	$\rightarrow \Phi$	$\rightarrow \Psi$	$\rightarrow \Phi$	$\rightarrow \Psi \rightarrow \Phi$
V	V	V	V	V
V	F	F	V	V
F	V	F	V	V
F	F	V	V	V
F	V	V	V	V
F	F	V	V	V

Os valores verdade da fórmula  $A$  ( $\Psi \rightarrow \Phi$ ) são os mesmos valores da fórmula  $B$  ( $\rightarrow \Psi \rightarrow \Phi$ ). Assim, pode-se dizer que a fórmula  $B$  é equivalente à fórmula  $A$ .

#### Equivalência Lógica

Para encontrar a Equivalência Lógica entre duas fórmulas, é preciso verificar se todos os valores verdade da fórmula  $A$  são os mesmos valores verdade da fórmula  $B$ .

Fórmula:  $\Psi \rightarrow \Phi \vdash \rightarrow \Psi \rightarrow \Phi$

$\Psi$	$\rightarrow \Phi$	$\rightarrow \Psi$	$\rightarrow \Phi$	$\rightarrow \Psi \rightarrow \Phi$
V	V	F	V	V
V	F	V	F	V
F	V	F	F	V
F	F	V	V	V
F	V	V	V	V
F	F	V	V	V

Os valores verdade da fórmula  $A$  ( $\rightarrow \Psi \rightarrow \Phi$ ) são os mesmos valores da fórmula  $B$  ( $\rightarrow \Psi \rightarrow \Phi$ ). Assim, pode-se dizer que a fórmula  $B$  é equivalente à fórmula  $A$ .

#### Faça você mesmo

Marque as alternativas que indicam se as fórmulas são consequências ou equivalentes.

Fórmula:  $\neg p \rightarrow p \vdash \neg p \rightarrow q$

$\neg p$	$\rightarrow p$	$\rightarrow q$	$\rightarrow q$	$\rightarrow \neg p \rightarrow q$
V	V	F	V	V
V	F	V	F	V
F	V	F	F	F
F	F	V	V	V
F	V	V	V	V
F	F	V	V	V

☐ É consequência  
☐ Não é consequência

Fórmula:  $p \rightarrow q \vdash p \rightarrow q \vdash q$

$p$	$\rightarrow q$	$\rightarrow p$	$\rightarrow q$	$\rightarrow p \rightarrow q$
V	V	F	V	V
V	F	T	F	F
F	V	V	V	V
F	F	V	V	V
F	V	V	V	V
F	F	V	V	V

☐ É equivalente  
☐ Não é equivalente

Fórmula:  $\neg \neg p \vdash p$

$\neg \neg p$	$\neg p$	$\neg \neg p$	$\neg p$	$\neg \neg p \vdash p$
V	F	V	V	V
V	V	F	V	V
F	V	V	F	F
F	F	V	V	V

☐ É equivalente  
☐ Não é equivalente

Fórmula:  $p \vdash q \vdash p \vee q$

$p$	$\vdash q$	$\vdash p$	$\vdash q$	$\vdash p \vee q$
V	V	F	V	V
V	F	T	F	F
F	V	V	V	V
F	F	V	V	V
F	V	V	V	V
F	F	V	V	V

☐ É equivalente  
☐ Não é equivalente

Finalizar Tópico

**Figura 2. Módulo Aprender**

Já o módulo “Construir” (Figura 3) tinha como propósito principal fomentar a aprendizagem ativa por meio da construção de expressões lógicas utilizando blocos visuais. Inspirado em abordagens construtivistas, ele buscava transformar o estudante em protagonista do processo de aprendizagem, permitindo a manipulação de operadores lógicos e a visualização de resultados.



**Figura 3. Módulo Construir**

Para verificar se essas propostas estavam sendo efetivamente alcançadas na prática, foram conduzidas duas avaliações empíricas com estudantes dos cursos de Engenharia de Software e Ciência da Computação da Universidade Federal do Pampa, com foco específico nos módulos “Aprender” e “Construir” [Moura et al. 2024, Arrojo et al. 2024]. Essas avaliações buscaram identificar limitações tanto de usabilidade quanto de eficácia pedagógica, gerando dados qualitativos essenciais para a reformulação dos requisitos do sistema.

Com base nessas avaliações empíricas, foi realizado um mapeamento sistemático dos problemas identificados, tomando como referência as heurísticas de usabilidade propostas por Nielsen [Nielsen 2005]. O objetivo foi destacar os principais pontos críticos dos módulos “Aprender” e “Construir”, de forma a orientar intervenções futuras.

A Tabela 1 sintetiza esses problemas, apresentando-os em ordem de ocorrência, acompanhados de um identificador (ID), da descrição detalhada, da heurística violada (HN) e do nível de severidade (SV). A escala de severidade, proposta por Nielsen, varia de 0 a 4, onde (0) indica que não se trata de um problema de usabilidade; (1) corresponde a problemas cosméticos, cuja correção só é necessária se houver tempo disponível; (2) refere-se a problemas menores, cuja correção é desejável, mas não prioritária; (3) caracteriza problemas significativos que devem ser corrigidos com alta prioridade; e (4) representa problemas críticos que exigem correção imediata. Essa classificação permite estimar tanto o impacto dos problemas na experiência do usuário quanto a urgência de sua correção.

No que se refere ao módulo “Aprender”, os participantes relataram que o conteúdo era repetitivo, pouco desafiador e desarticulado das explicações teóricas. Destacaram, ainda, a ausência de mediação didática, como dicas, pistas ou instruções contextuais, e expressaram a percepção de que o módulo operava como um quiz tradicional, sem proporcionar oportunidades significativas de construção ativa do conhecimento. Esses achados reforçam a necessidade de mediação pedagógica contextualizada, além da inclusão de tutoriais e suporte didático embutido, visando maior envolvimento e apoio à aprendizagem.

Em relação ao módulo “Construir”, as críticas concentraram-se na falta de clareza

**Tabela 1. Categorização da Avaliação dos Módulos “Aprender” e “Construir”.**

ID	Descrição do Problema	HN	SV
P01	Usuário não percebe que há mais conteúdo abaixo (scroll oculto), gerando confusão e afetando a conclusão da tarefa.	H1	3
P02	Ícones não são autoexplicativos; faltam padrões visuais consistentes. Sugere-se legenda para ícones pouco intuitivos, principalmente para iniciantes.	H4	2
P03	Sistema não impede erro comum: inverter V/F sem feedback antecipado. Erro frequente relatado; seria evitável com dicas automáticas ou preenchimento guiado.	H5	2
P04	Alguns usuários solicitaram “limpeza visual” e uso de cores mais claras/chamativas. Reclamações sobre visual “poluído” ou monótono, embora não impeditivas.	H8	1
P05	Sistema aponta onde está o erro, mas não explica por que nem como corrigi-lo. Recurso explicativo pós-erro é apontado como essencial para a aprendizagem.	H9	4
P06	Ausência de ajuda embutida para iniciantes, observação recorrente, especialmente entre usuários sem base prévia em lógica.	H10	2

da interface, com ênfase na ausência de indicação de rolagem vertical, na baixa intuitividade dos ícones e na carência de feedback imediato. A manipulação dos blocos lógicos foi considerada confusa por usuários iniciantes. Apesar dessas dificuldades, alguns participantes relataram avanços significativos na compreensão de lógica proposicional após o uso contínuo da ferramenta. As evidências, portanto, sugerem que, embora o módulo possua potencial pedagógico, seu uso está comprometido por barreiras de usabilidade que dificultam a exploração plena de suas funcionalidades construtivistas.

O mapeamento dessas deficiências que justificam, portanto, uma revisão estrutural da arquitetura funcional, visual e pedagógica do TRUEBLE. A distância observada entre as intenções originais dos módulos e a experiência relatada pelos usuários evidenciou a necessidade de reengenharia de requisitos, conforme será detalhado na seção seguinte.

## 5. Reengenharia de Requisitos

O desenvolvimento de sistemas educacionais digitais envolve a integração de fundamentos da engenharia de software, da pedagogia e da interação humano-computador (IHC). Nesse contexto, a reengenharia de requisitos surge como uma abordagem essencial para revisar, adaptar e modernizar sistemas existentes, de modo a alinhá-los às demandas atuais de usabilidade, funcionalidade e eficácia pedagógica.

Segundo [Sommerville 2019], a reengenharia de requisitos consiste em um processo sistemático de reavaliação e modificação das funcionalidades de um sistema. Essa prática permite corrigir deficiências, revisar requisitos já implementados e incorporar novos elementos capazes de atender melhor aos objetivos de uso em contextos atualizados. A reengenharia atua, portanto, como uma ferramenta estratégica para revitalizar sistemas que não satisfazem plenamente as expectativas dos usuários.

No caso do TRUEBLE, embora existissem requisitos iniciais, a implementação descentralizada por diferentes equipes comprometeu sua coerência e dificultou a evolução do sistema. A reengenharia foi, assim, adotada como estratégia para restaurar a integridade dos requisitos, alinhar as funcionalidades aos princípios dos AVAs e promover uma arquitetura mais integrada. Guiada pelas evidências de uso e pelas demandas dos estudantes, essa reformulação buscou superar limitações de usabilidade, fortalecer o suporte pedagógico e aprimorar os fluxos de interação.

Uma das primeiras decisões desse processo foi a introdução de uma dashboard como estrutura central de navegação. Essa centralização reorganizou o acesso às funci-

onalidades de forma mais intuitiva, oferecendo ao usuário uma visão panorâmica do sistema e facilitando a circulação entre os módulos. Além disso, consolidou-se a importância de definir três tipos de acesso: professor, aluno e convidado. O perfil de convidado foi planejado para permitir exploração inicial da plataforma sem necessidade de cadastro, favorecendo a experimentação. O perfil de aluno manteve foco no estudo e na prática, enquanto o perfil de professor foi enriquecido com funcionalidades de autoria pedagógica, como criação de turmas, elaboração de exercícios, organização de listas e gerenciamento de um banco de questões, recursos inexistentes na versão anterior.

Essa redefinição de funcionalidades também foi associada a requisitos pedagógicos específicos [Xavier 2024], conforme apresentado na Tabela 2. A intenção foi assegurar que os novos requisitos funcionais tivessem como base princípios voltados à qualidade do processo de ensino-aprendizagem. Essa associação garante que cada decisão de design do sistema esteja ancorada em fundamentos educacionais sólidos, assegurando maior coerência entre a proposta tecnológica e os objetivos de aprendizagem.

**Tabela 2. Requisitos Funcionais Alinhados a Princípios Pedagógico**

ID	Nome do Requisito	Descrição Técnica	Requisitos Pedagógico
RF01	Realizar Login	Permitir que o usuário acesse o sistema com suas credenciais.	Detectar perfil do aluno
RF02	Acesso como Convidado	Acesso ao sistema sem credenciais, com funcionalidades limitadas.	Acessar
RF03	Gerenciar Turma	Permitir ao professor criar turmas.	Apoiar o trabalho cooperativo
RF04	Acessar Turma	Permitir ao aluno acessar turmas cadastradas.	Apoiar o trabalho cooperativo
RF05	Gerenciar Alunos	Listar e excluir alunos vinculados a uma turma.	Acompanhar desempenho dos alunos
RF06	Gerenciar Banco de Questões	Criar e deletar categorias no banco de questões.	Organizar conteúdo de forma hierárquica
RF07	Gerenciar Exercícios	Criar, editar e excluir exercícios com feedback explicativo.	Propor aprendizagem ativa; Mostrar feedback construtivo
RF08	Gerenciar Listas de Exercícios	Criar, visualizar e deletar listas de exercícios.	Organização hierárquica dos conteúdos
RF09	Iniciar Tópico	Acessar conteúdos introdutórios no módulo “Aprender”.	Organização hierárquica dos conteúdos
RF10	Finalizar Tópico	Concluir a visualização de um conteúdo.	Exercícios sequenciais
RF11	Realizar Lista de Exercícios	Resolver listas cadastradas pelo professor.	Aprendizagem ativa; Avaliação do desempenho
RF12	Verificar Tabela	Visualizar a tabela verdade de uma fórmula automaticamente.	Utilizar símbolos e signos
RF13	Construir Tabela	Preencher manualmente a tabela verdade com correção automática.	Aprendizagem ativa; Autoria nas soluções
RF14	Monitorar Ranking de Alunos	Visualizar desempenho com base nos acertos.	Dividir grupos por afinidades; Engajamento coletivo
RF15	Tour Guiado Inicial	Apresentar explicações interativas ao primeiro acesso.	Planos de ensino baseados no aluno
RF16	Inserção de Fórmulas Personalizadas	Permitir entrada de fórmulas criadas pelo usuário.	Autoria nas soluções
RF17	Feedback Imediato e Detalhado	Exibir explicações para respostas erradas nos exercícios.	Feedback individual; Feedback construtivo; Feedback imediato
RF18	Teclado Virtual com Operadores Lógicos	Interface com símbolos lógicos para facilitar a digitação.	Acessibilidade

Na sequência, realizou-se também o alinhamento desses requisitos com as diretrizes para AVAs eficientes, conforme sistematizado na Tabela 3. Essa estrutura segue os princípios propostos por [de Oliveira Martins et al. 2016], que reforçam a importância de um ambiente integrado, centrado no estudante e apoiado em práticas interativas.

Nesse sentido, a reengenharia do sistema TRUEBLE também contemplou a

**Tabela 3. Alinhamento dos Requisitos com as Diretrizes de Martins (2016)**

ID	Diretriz (Martins, 2016)	Explicação
RF01	(c) Adaptação ao perfil do estudante	Login permite identificar o usuário, habilitando adaptações futuras.
RF03	(a) Mediação ativa do professor	Criação de turmas pelo professor representa mediação ativa.
RF04	(a) Mediação ativa do professor	Acesso às turmas organizadas reflete a mediação do professor.
RF05	(a) Mediação ativa do professor	Gerenciamento de alunos reforça o acompanhamento pelo professor.
RF06	(f) Estímulo ao engajamento por atividades práticas	Organização de questões estimula prática estruturada.
RF07	(f) Estímulo ao engajamento por atividades práticas	Exercícios variados com feedback incentivam a prática ativa.
RF08	(f) Estímulo ao engajamento por atividades práticas	Listas organizadas promovem sequência lógica de prática.
RF10	(f) Estímulo ao engajamento por atividades práticas	Concluir tópicos reforça a prática e consolidação.
RF11	(b) Feedback contínuo e contextualizado	Listas com feedback contínuo proporcionam aprendizado ativo.
RF12	(d) Uso de múltiplas linguagens	Visualização automática da tabela usa linguagem simbólica.
RF13	(f) Estímulo ao engajamento por atividades práticas	Construção manual com correção automatizada estimula prática.
RF14	(f) Estímulo ao engajamento por atividades práticas e colaborativas	Ranking promove engajamento por meio de competição saudável.
RF17	(b) Feedback contínuo e contextualizado	Feedback detalhado auxilia no aprendizado contextualizado.
RF18	(e) Garantia de acessibilidade e inclusão	Teclado facilita uso por pessoas com limitações motoras.

identificação de Requisitos Não Funcionais (RNFs), conforme apresentados na Tabela 4. Pois em sistemas educacionais interativos, aspectos como tempo de resposta, clareza visual e acessibilidade não apenas qualificam a interação, mas influenciam diretamente a eficácia pedagógica da aplicação [Pressman and Maxim 2016].

**Tabela 4. Requisitos Não Funcionais do TRUEBLE**

ID	Nome do Requisito	Descrição
RNF01	Clareza Visual	A interface deve apresentar hierarquia da informação bem definida, uso consistente de cores e ícones, garantindo legibilidade e reduzindo a sobrecarga cognitiva.
RNF02	Consistência de Navegação	O sistema deve manter padrões consistentes em menus, botões e fluxos de interação, evitando rupturas na experiência do usuário.
RNF03	Tempo de Resposta	As interações do usuário devem ser processadas em tempo hábil (máximo de 2 segundos para feedback imediato), assegurando fluidez na experiência.

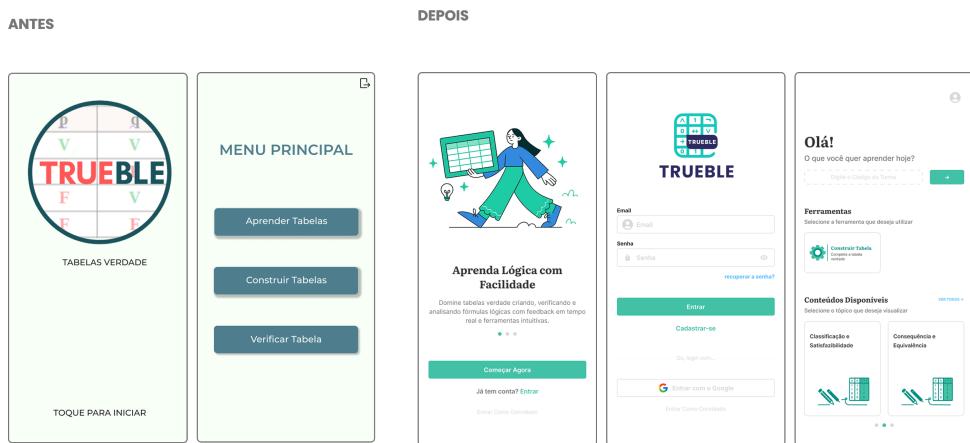
Esses novos requisitos reforçam o compromisso do projeto TRUEBLE com uma intencionalidade educacional clara. A estratégia adotada orienta o desenvolvimento de funcionalidades mais coerentes com as necessidades dos estudantes e amplia o potencial do sistema para promover aprendizagens mais significativas e engajadoras.

## 6. Resultados

Os protótipos desenvolvidos a partir da reengenharia não apenas respondem aos novos requisitos, mas também abordam diretamente os problemas de usabilidade identificados nas avaliações empíricas (Tabela 1). Assim, as soluções propostas e a reorganização visual constituem representações tangíveis dos requisitos reformulados, materializando um esforço contínuo de aprimoramento do sistema. Elas não se limitam a corrigir falhas técnicas pontuais, mas sinalizam uma transformação estrutural mais ampla.

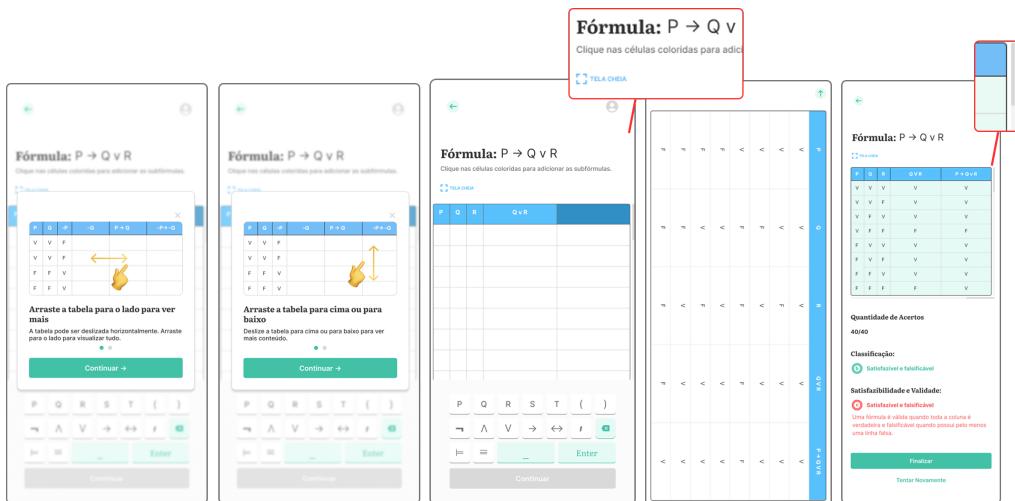
No projeto original, os módulos “Aprender” e “Construir” funcionavam de forma isolada, fragmentando a experiência do usuário e dificultando a continuidade pedagógica. Com a reengenharia, o módulo “Aprender” foi redesenhado como uma seção de conteúdos disponíveis e o módulo “Construir” deixa de existir como espaço independente e passa a atuar como uma ferramenta integrada ao aplicativo. A Figura 4 ilustra essa mudança, evidenciando a transição do TRUEBLE de um conjunto de módulos isolados para a

constituição de um Ambiente Virtual de Aprendizagem (AVA) mais coeso e orientado por intencionalidades pedagógicas.



**Figura 4. Transição de módulos isolados para ambiente integrativo no TRUEBLE**

Dando continuidade à integração proposta, parte-se agora para a análise da resolução dos problemas identificados nas avaliações empíricas (Tabela 1), tratando-os individualmente. O problema P01 refere-se à ausência de indicação visual para a rolagem de conteúdo. Diversos usuários relataram não perceber que havia mais informações abaixo da área visível, o que comprometeu a conclusão das atividades propostas. A Figura 5 apresenta a solução implementada, na qual um tutorial inicial destaca a possibilidade de rolar a tabela verdade tanto na horizontal quanto na vertical, utilizando a funcionalidade de scroll. Essa possibilidade também é reforçada por uma explicação exibida ao acessar essa funcionalidade. Além disso, foi adicionada a opção de exibição em tela cheia, facilitando a visualização completa das informações.

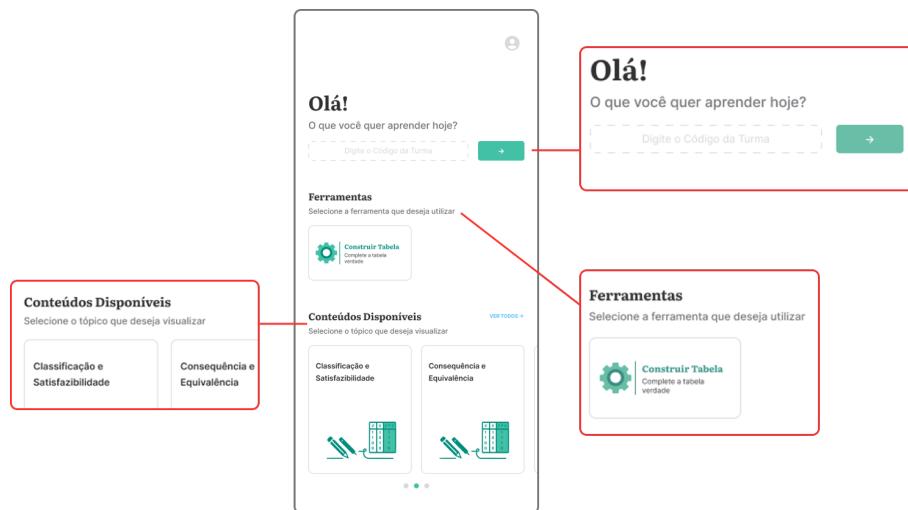


**Figura 5. Resolução do P01**

O problema P02 está relacionado à falta de ícones autoexplicativos e à ausência de padrões visuais consistentes. Essa limitação compromete a coerência da interface e dificulta a identificação das funcionalidades, especialmente para usuários iniciantes. Os

participantes da avaliação dos módulos sugeriram a inclusão de legendas para os ícones e demais elementos considerados pouco intuitivos. Já o problema P04 refere-se à presença de elementos visuais considerados excessivos, bem como ao uso de uma paleta de cores pouco atrativa, o que resultou em comentários sobre a poluição visual.

A Figura 6 ilustra as melhorias idealizadas: cada seção do sistema agora conta com uma legenda textual clara, e a nova dashboard apresenta uma interface limpa, com baixo nível de poluição visual e melhor organização dos elementos.



**Figura 6. Resolução do P02 e P04**

O problema P03, refere-se à ausência de mecanismos que impeçam a inversão dos valores lógicos verdadeiro/falso (V/F) sem o devido fornecimento de feedback corretivo. Essa falha foi relatada com frequência pelos participantes e compromete diretamente a execução correta da atividade. Para contemplar a resolução desse problema, dos RNF01 e RNF03 (Tabela 4), bem como atender ao requisito não funcional de implementação de teclado personalizado, foi desenvolvido um teclado adaptativo, integrado às etapas de preenchimento da fórmula e da tabela verdade.

Durante o preenchimento das fórmulas e do cabeçalho, é disponibilizado um teclado completo com todos os operadores lógicos. Já nas células destinadas às respostas (V/F), o sistema apresenta um teclado simplificado, contendo apenas as opções “Verdeiro” e “Falso”. Além disso, foram inseridas instruções visuais diretamente na interface, informando que o preenchimento deve começar pelo cabeçalho da tabela e seguir pelas células subsequentes. A Figura 7 ilustra essas modificações, que visam reduzir erros previsíveis e guiar o usuário de forma clara e progressiva.

O problema P03 refere-se à ausência de mecanismos que impeçam a inversão dos valores lógicos verdadeiro/falso (V/F) sem o devido fornecimento de feedback corretivo. Essa falha, frequentemente relatada pelos participantes, comprometeu a execução correta da atividade e levou à definição do Requisito Funcional RF18 (Teclado Virtual com Operadores Lógicos) e dos Requisitos Não Funcionais RNF01 (Clareza Visual).

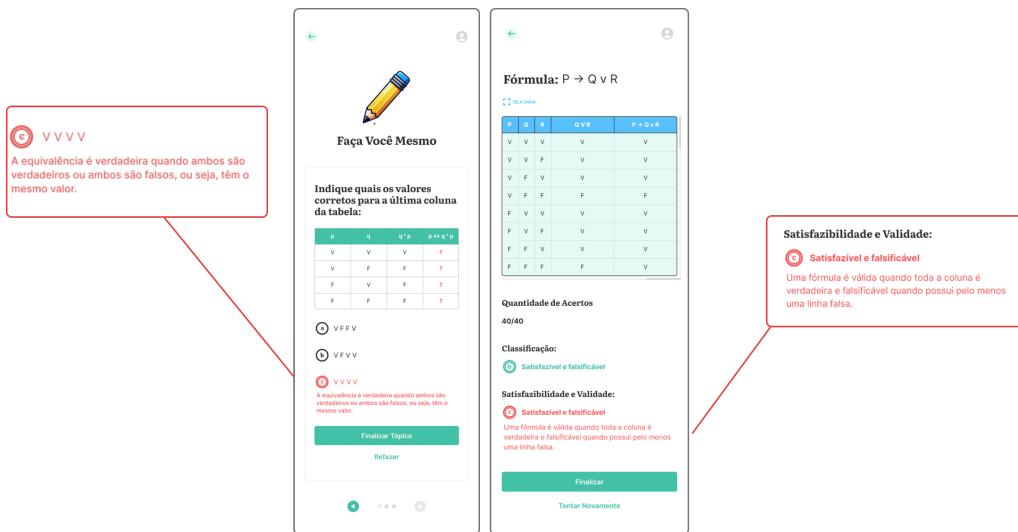
Esses requisitos orientaram o desenvolvimento de um teclado adaptativo, integrado às etapas de preenchimento da fórmula e da tabela verdade. Durante o preenchimento das fórmulas e do cabeçalho, o teclado apresenta todos os operadores lógicos,

enquanto nas células destinadas às respostas (V/F) exibe apenas as opções “Verdadeiro” e “Falso”. Além disso, foram inseridas instruções visuais diretamente na interface, guiando o usuário a iniciar o preenchimento pelo cabeçalho da tabela e seguir pelas células subsequentes. A Figura 7 ilustra essas modificações.



**Figura 7. Resolução do P03**

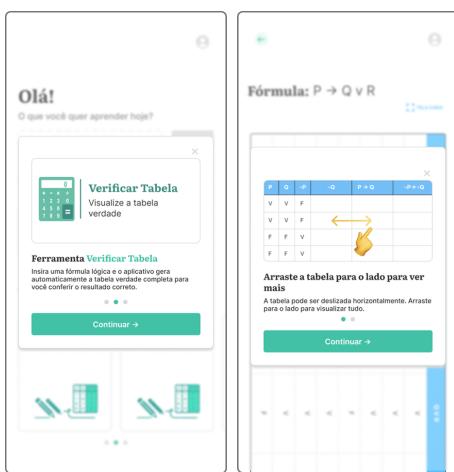
O problema P05 evidenciou que, embora o sistema apontasse onde o erro ocorria, ele não oferecia nenhuma explicação sobre sua causa ou formas de correção. Essa limitação comprometia diretamente o potencial pedagógico do sistema e fundamentou a formulação do Requisito Funcional RF17 (Feedback Imediato e Detalhado). A partir dele, foi projetada uma funcionalidade que oferece explicações contextuais para cada erro cometido, permitindo ao usuário compreender por que determinada resposta está incorreta. A Figura 8 apresenta essa solução, que busca transformar os erros em oportunidades formativas.



**Figura 8. Resolução do P05**

O problema P06 estava relacionado à ausência de ajuda para novos usuários, dificultando a familiarização com a interface e limitando a autonomia dos participantes no primeiro contato. Esse diagnóstico originou o Requisito Funcional RF15 (Tour Guiado Inicial) e a solução concebida foi um recurso de introdução interativa que apresenta as principais funcionalidades do aplicativo no primeiro acesso, auxiliando na adaptação do usuário e promovendo maior autonomia desde o início. A Figura 9 ilustra essa melhoria.

As soluções apresentadas nesta seção procuram responder de forma concreta aos problemas de usabilidade e de mediação pedagógica identificados nas avaliações



**Figura 9. Resolução do P06**

empíricas. Cada intervenção foi pensada para transformar dificuldades recorrentes em oportunidades de aprendizagem mais clara, acessível e orientada. Os protótipos desenvolvidos pretendem articular requisitos técnicos e pedagógicos em interfaces mais consistentes e significativas.

## 7. Considerações Finais

A reengenharia do ambiente TRUEBLE evidenciou a importância de alinhar requisitos funcionais, não funcionais e pedagógicos às reais necessidades dos usuários e às diretrizes dos Ambientes Virtuais de Aprendizagem (AVAs). A partir das avaliações apresentadas, foi possível reformular a estrutura do ambiente com foco em usabilidade, mediação didática e eficácia educacional.

A proposta contemplou uma revisão abrangente dos requisitos funcionais, buscando maior coerência entre as funcionalidades e os objetivos pedagógicos do sistema. Paralelamente, os requisitos não funcionais e pedagógicos foram integrados de modo estratégico, priorizando feedback formativo, personalização e apoio à autonomia do estudante. A articulação desses requisitos com as heurísticas de usabilidade de Nielsen e com os princípios dos AVAs demonstrou que a reengenharia não se limita à dimensão técnica, mas representa um processo orientado pela experiência do usuário e pela intencionalidade pedagógica.

Como contribuição prática, o artigo apresenta algumas telas redesenhas do sistema, evidenciando a aplicação direta das análises realizadas nas avaliações anteriores e a reengenharia dos requisitos. Essas representações visuais tornam explícita a transformação do ambiente, reforçando o compromisso com uma aprendizagem mais significativa, interativa e centrada no estudante.

Como continuidade deste trabalho, será realizada a implementação completa das melhorias identificadas, seguida de novas rodadas de avaliação com usuários reais. Essa etapa será fundamental para validar os impactos da reestruturação proposta sobre a experiência de uso e os resultados de aprendizagem. Além disso, será investigada a adaptabilidade do sistema a diferentes perfis de estudantes e contextos educacionais, ampliando seu alcance e potencial formativo.

## Agradecimentos

Os autores agradecem pelo apoio financeiro da FAPERGS (Projeto ARD/ARC - processo 23/2551-0000761-4) e pela concessão de bolsas de Iniciação Científica do CNPq, da FAPERGS e da Unipampa.

## Referências

- Arrojo, M., Dias, B., Poltronieri, I., and Finger, A. (2024). Trueble: Desenvolvimento e avaliação de um app para o ensino de tabelas verdade. In *XXXV Simpósio Brasileiro de Informática na Educação (SBIE)*. SBC.
- Barbosa, S. and Silva, B. (2010). *Interação Humano-Computador*. Elsevier Brasil.
- de Oliveira Martins, D., Tiziotto, S. A., and Cazarini, E. W. (2016). Ambientes virtuais de aprendizagem (avas) como ferramentas de apoio em ambientes complexos de aprendizagem (acas). *Revista Brasileira de Aprendizagem Aberta e a Distância*, 15.
- Economides, A. A. (2008). Requirements of mobile learning applications. *International Journal of Innovation and Learning*, 5(5):457–479.
- Moura, G., Poltronieri, I., and Finger, A. (2024). Trueble: Prototipação e avaliação do aplicativo para ensino de tabelas verdade. In *XXXV Simpósio Brasileiro de Informática na Educação (SBIE)*. SBC.
- Nielsen, J. (2005). 10 usability heuristics for user interface design. Acessado em maio de 2025.
- Pressman, R. S. and Maxim, B. R. (2016). *Engenharia de Software: uma abordagem profissional*. AMGH Editora, Porto Alegre, 8 edition.
- Sommerville, I. (2019). *Engenharia de Software*. Pearson, São Paulo, 10 edition.
- Xavier, M. (2024). Educatalog – catálogo de ferramentas para educação em lógica. Acesso em: fevereiro de 2024.