

Um Framework para Desenvolvimento de Tecnologias Educacionais em Contextos de Deserto Digital

Laura Quevedo Jurgina¹, Leomar Soares da Rosa Júnior¹, Fernando Moreira²
e Tiago Thompsen Primo¹

¹Laboratory for Innovation and Research on Educational Solutions (LIRES)
Universidade Federal de Pelotas (UFPel)
Pelotas – RS – Brasil

²Universidade Portucalense
Porto, Portugal

{lqjurgina, leomarjr, tiago.primo}@inf.ufpel.edu.br,
fmoreira@upt.pt

Abstract. *This paper presents TECA, a sociotechnical framework for developing educational technologies in digital desert contexts. Based on a structured narrative review, methodological comparison, and longitudinal instantiation, TECA organizes design into five phases: Territoriality, Ecosystem, Culture, Action, and Situated Evaluation. Its application to a tangible literacy technology shows how situated constraints informed offline operation, multimodal feedback, low setup effort, teacher mediation, and physical redesign, preserving traceability between context, requirements, and design decisions.*

Resumo. *Este artigo apresenta o TECA, um framework sociotécnico para desenvolver tecnologias educacionais em contextos de deserto digital. Com base em revisão narrativa estruturada, comparação metodológica e instanciação longitudinal, o TECA organiza o projeto em cinco fases: Territorialidade, Ecossistema, Cultura, Ação e Avaliação Situada. Sua aplicação a uma tecnologia tangível de alfabetização mostra como restrições situadas orientaram operação offline, feedback multimodal, baixa configuração, mediação docente e reprojeção física, preservando a rastreabilidade entre contexto, requisitos e decisões.*

1. Introdução

A adoção de tecnologias educacionais costuma ser apresentada como caminho para ampliar o acesso, personalizar a aprendizagem e atualizar práticas pedagógicas. Essa formulação, porém, nem sempre explicita as condições materiais e institucionais exigidas para que tais soluções funcionem fora de cenários ideais. Parte dessas tecnologias pressupõe conectividade estável, dispositivos operacionais, suporte técnico, manutenção recorrente, fluência digital e capacidade institucional para sustentar serviços em rede. O *Global Education Monitoring Report* [2023] afirma que tecnologias educacionais devem ser avaliadas segundo adequação contextual, equidade, evidência e sustentabilidade. Peixoto e Araújo [2012] criticam discursos que tratam a tecnologia como instrumento neutro ou como força determinante, pois esse enquadramento reduz a visibilidade das condições sociais que moldam seu uso.

No Brasil, a fragilidade dessa premissa aparece em dados oficiais. O Censo Escolar da Educação Básica de 2023 registra que apenas 47,8% das escolas de ensino fundamental da região Norte possuem acesso à internet banda larga; na rede municipal, somente 36,7% das escolas disponibilizam internet para uso dos estudantes [2024]. O Indicador de Alfabetismo Funcional [2024] aponta que 29% da população brasileira se encontra em situação de analfabetismo funcional, condição que impõe barreiras adicionais para interfaces baseadas em textos densos, navegação abstrata e uso autônomo de plataformas digitais.

Este trabalho trata esses cenários como desertos digitais: contextos nos quais a adoção de tecnologias educacionais é limitada por restrições combinadas de conectividade, energia, manutenção, mediação docente, letramento funcional, governança de dados, dependência de plataformas, adequação cultural e sustentabilidade de uso. A literatura sobre integração tecnológica, formação docente e modelos pedagógicos mediados por tecnologia reconhece parte dessas condições, mas ainda oferece pouca orientação para convertê-las em requisitos computacionais, pedagógicos e de sustentabilidade. A lacuna torna-se mais crítica quando o contexto é descrito como dado pedagógico, sem produzir efeitos verificáveis sobre decisões arquiteturais, interacionais, operacionais e de manutenção.

Este artigo propõe o TECA, um *framework* para orientar o desenvolvimento de tecnologias educacionais em contextos de deserto digital. Construído por revisão narrativa estruturada, comparação metodológica e abstração analítica de uma instanciación longitudinal, o TECA busca converter restrições materiais, institucionais, culturais e pedagógicas em requisitos, decisões de projeto, implementação, avaliação em uso real e ciclos de revisão. A contribuição está em definir deserto digital como categoria de projeto, organizar o TECA em fases e produtos intermediários, e demonstrar rastreabilidade entre evidências empíricas, requisitos e revisões.

2. Deserto digital

Deserto digital é a condição sociotécnica na qual restrições materiais, institucionais, cognitivas, culturais e pedagógicas se combinam e limitam a adoção, a continuidade e a apropriação de tecnologias educacionais. O conceito não se reduz à ausência de internet ou à insuficiência de dispositivos, pois descreve a relação entre infraestrutura, práticas escolares, mediação docente, repertórios de uso, sustentabilidade técnica e capacidade local de manutenção. Também não equivale a atraso tecnológico, deficiência institucional isolada ou falta de interesse da comunidade escolar; trata-se de uma configuração de restrições interdependentes que condiciona a vida útil de uma tecnologia no cotidiano da escola.

A literatura sobre *low-resource settings* sustenta essa definição ao tratar contextos de baixo recurso como sistemas de restrições combinadas. Van Zyl et al. [2021] mostram que infraestrutura física, recursos humanos, disponibilidade de conhecimento, capacidade institucional e condições econômicas se articulam de modos distintos, impedindo que a escassez seja reduzida a uma variável única. Henry [2024], ao discutir o *design-reality gap*, argumenta que a distância entre desenho tecnológico e realidade de uso envolve práticas sociomateriais, valores e objetivos em disputa. Essa leitura explica por que uma tecnologia educacional pode falhar não por deficiência interna do artefato,

mas por depender de condições que a escola não consegue sustentar.

O conceito se diferencia de noções próximas por sua função de projeto. Exclusão digital e brecha digital tendem a enfatizar desigualdades de acesso, conectividade e uso; infraestrutura escolar precária descreve carências materiais específicas; *low-resource settings* caracteriza ambientes com recursos limitados em sentido amplo; e marginalização sociotécnica destaca relações entre tecnologia, poder e participação. Deserto digital, neste artigo, nomeia a combinação dessas restrições quando elas precisam ser traduzidas em requisitos, decisões de arquitetura, formas de interação, estratégias de mediação, critérios de manutenção e avaliação em uso real.

Neste artigo, o deserto digital é analisado por cinco dimensões articuladas. A dimensão territorial envolve conectividade, energia, dispositivos, espaço físico, distância de suporte e condições de instalação. A dimensão ecológica reúne atores, rotinas, tempos escolares, mediações, responsabilidades e capacidade institucional de sustentar o uso. A dimensão cultural abrange repertórios locais, linguagem, materialidade, acessibilidade, exemplos e formas de participação. A dimensão operacional trata da introdução da tecnologia na escola, documentação, guarda, manutenção, acompanhamento e continuidade. A dimensão avaliativa verifica se a tecnologia opera, é compreendida, pode ser mediada, permanece apropriável e produz evidências para revisão.

O conceito ganha função operacional quando essas dimensões deixam de aparecer como contexto externo e passam a orientar decisões de desenvolvimento. Conectividade, manutenção, mediação docente, letramento funcional, governança e aderência cultural precisam informar escolhas de arquitetura, interação, suporte, privacidade e sustentabilidade. Com essa mudança, a análise deixa de verificar apenas se a escola possui acesso à tecnologia e passa a examinar quais condições tornam uma solução educacional operável, sustentável e pedagogicamente apropriável.

Essa formulação orienta o TECA. No *framework*, Territorialidade, Ecossistema, Cultura, Ação e Avaliação Situada organizam a passagem do diagnóstico situado para a prototipagem, implementação, avaliação e revisão. Desse modo, deserto digital deixa de funcionar apenas como diagnóstico de desigualdade e passa a operar como categoria de projeto para tecnologias educacionais.

3. Métodos existentes e lacuna para o desenvolvimento situado

A definição de deserto digital exige situar o debate diante de abordagens usadas no desenvolvimento, na pesquisa, no desenho participativo e na integração pedagógica de tecnologias educacionais. Esta seção examina que tipo de decisão cada abordagem tende a apoiar quando a tecnologia precisa funcionar em escolas com restrições persistentes de infraestrutura, manutenção, mediação, governança e continuidade. A lacuna investigada está na passagem entre diagnóstico situado e especificação de projeto: uma restrição observada na escola precisa produzir efeitos verificáveis em decisões de arquitetura, interação, suporte, privacidade, apropriação pedagógica e sustentabilidade.

O *Design Thinking* aproxima o desenvolvimento das necessidades humanas por meio de compreensão do problema, ideação, prototipagem e teste [Brown 2009]. A *Design Science Research* reconhece a construção e a avaliação de artefatos como contribuição científica, articulando relevância do problema, rigor teórico, *design*,

demonstração e avaliação [Hevner et al. 2004; Peffers et al. 2007]. A *Design-Based Research* aproxima pesquisa educacional, intervenção e refinamento em contextos reais de aprendizagem [The Design-Based Research Collective 2003]. O *Participatory Design* afirma que sujeitos afetados por sistemas computacionais devem participar das decisões de projeto [Simonsen and Robertson 2012; Costanza-Chock 2020]. Modelos como TPACK e SAMR orientam a reflexão sobre integração pedagógica da tecnologia às práticas docentes [Kelly et al. 2019; Park 2020].

A comparação foi conduzida a partir de seis critérios: diagnóstico contextual, tradução de restrições em requisitos, tratamento da manutenção, tratamento da governança, papel da mediação docente e forma de avaliação. Essas abordagens oferecem contribuições consistentes, mas não resolvem por completo o problema tratado neste artigo. Em contextos de deserto digital, compreender usuários, construir artefatos, conduzir intervenções, ampliar participação ou refletir sobre integração pedagógica não garante que restrições territoriais, operacionais e institucionais sejam convertidas em escolhas técnicas e pedagógicas rastreáveis. O ponto crítico está em preservar a relação entre evidências situadas, restrições sociotécnicas, requisitos e decisões de projeto. A Tabela 1 organiza essa lacuna e delimita o espaço metodológico ocupado pelo TECA.

Tabela 1. Abordagens existentes e lacuna tratada pelo TECA.

Abordagem	Contribuição	Lacuna para Deserto Digital	Resposta do TECA
<i>Design Thinking</i>	Escuta e prototipagem.	Restrições podem não virar requisitos.	Liga território a arquitetura e operação.
<i>Design Science Research</i>	Artefatos e avaliação.	Não define dimensões situadas.	Especifica o artefato pelo contexto.
<i>Design-Based Research</i>	Intervenção em contexto real.	Pode omitir operação e manutenção.	Inclui continuidade e mediação.
<i>Participatory Design</i>	Participação dos sujeitos.	Participação pode não gerar decisão.	Rastreia repertórios e escolhas.
TPACK/SAMR	Integração pedagógica.	Não orientam a concepção técnica.	Relaciona uso, mediação e permanência.

O TECA se insere nessa passagem entre diagnóstico situado e especificação de projeto. O *framework* não é proposto como substituto de *Design Thinking*, *Design Science Research*, *Design-Based Research*, *Participatory Design*, TPACK ou SAMR. Sua função é operar como camada de especificação situada para contextos de deserto digital, preservando a rastreabilidade entre evidências de campo, restrições, requisitos, decisões de arquitetura, escolhas de interação, condições de implementação e avaliação em uso real.

4. Método de construção do *framework*

Este artigo apresenta um estudo metodológico voltado à construção de um *framework* sociotécnico para o desenvolvimento de tecnologias educacionais em contextos de deserto digital. O objetivo metodológico foi produzir uma estrutura capaz de converter

restrições materiais, institucionais, culturais e pedagógicas em requisitos de projeto, decisões de implementação e critérios de avaliação em uso real. Para isso, a construção do TECA combinou três procedimentos: revisão narrativa estruturada da literatura, análise comparativa de abordagens de desenvolvimento e pesquisa em tecnologia educacional, e abstração analítica de uma instância longitudinal de desenvolvimento de tecnologia educacional tangível em escolas públicas brasileiras. Cada procedimento produziu um artefato analítico usado na formulação do *framework*: matriz conceitual, matriz comparativa e cadeia de rastreabilidade.

A revisão narrativa estruturada delimitou o conceito de deserto digital e identificou dimensões que condicionam a vida útil de tecnologias educacionais em escolas com restrições persistentes. A seleção da literatura concentrou-se em trabalhos sobre contextos de baixo recurso, desigualdade digital, desenho participativo, desenvolvimento de artefatos educacionais, integração pedagógica de tecnologia e avaliação situada, sem pretensão de revisão sistemática da literatura. Os textos foram lidos com atenção às condições que afetavam operação, mediação, manutenção, governança, apropriação e continuidade de uso. A literatura foi organizada em cinco eixos analíticos: infraestrutura e território; ecossistema escolar; cultura e repertórios de uso; implementação situada; e avaliação em contexto real. O produto dessa etapa foi uma matriz conceitual que relacionou deserto digital a operação, mediação, manutenção, governança, apropriação e continuidade de uso.

A análise comparativa examinou como abordagens como *Design Thinking*, *Design Science Research*, *Design-Based Research*, *Participatory Design*, TPACK e SAMR tratam o contexto, quais produtos metodológicos geram e em que medida orientam a conversão de restrições sociotécnicas em requisitos de arquitetura, interação, suporte, privacidade, mediação e avaliação. A comparação considerou seis critérios: diagnóstico contextual, tradução de restrições em requisitos, tratamento da manutenção, tratamento da governança, papel da mediação docente e forma de avaliação. O produto dessa etapa foi uma matriz comparativa usada para delimitar o TECA como camada de especificação situada, articulável a métodos consolidados e dirigida ao problema da rastreabilidade entre evidências de campo e decisões de projeto.

A terceira etapa consistiu na abstração analítica de uma instância longitudinal de desenvolvimento de uma tecnologia educacional tangível para apoio à alfabetização em escolas públicas brasileiras, previamente relatada em [Jurgina et al. 2026a]. Essa instância foi utilizada como caso de demonstração metodológica, e não como validação conclusiva do *framework*. O procedimento consistiu em reler decisões tomadas ao longo do desenvolvimento do artefato e organizá-las segundo a cadeia: evidência observada, restrição sociotécnica, requisito derivado, decisão de projeto, forma de implementação e critério de avaliação situada. Essa releitura priorizou decisões que pudessem ser associadas a evidências registradas em observações, conversas docentes, oficinas de cocriação, grupo focal ou testes de usabilidade.

A definição das fases do TECA seguiu três critérios: representar uma dimensão sociotécnica recorrente em contextos de deserto digital; produzir efeitos verificáveis sobre decisões de projeto; e gerar um produto intermediário capaz de registrar evidências, justificar requisitos e apoiar ciclos posteriores de revisão. Com base nesses critérios, foram definidas cinco fases: Territorialidade, Ecossistema, Cultura, Ação e Avaliação

Situada. Cada fase foi associada a um produto intermediário: Mapa de Restrições Territoriais (MRT), Mapa Sociotécnico do Ecossistema (MSE), Protótipo Culturalmente Situado (PCS), Plano de Ação Situada (PAS) e Relatório de Evidências de Avaliação Situada (REAS).

A demonstração apresentada neste artigo utiliza a instância longitudinal para examinar a cadeia de rastreabilidade do TECA. Por essa razão, os resultados não são tratados como medida de superioridade do *framework* em relação a outros métodos, nem como comprovação de efeito educacional do artefato tangível. O foco está em mostrar como operação *offline*, baixa configuração, materialidade tangível, *feedback* multimodal, documentação curta e mediação docente podem ser vinculados a restrições previamente identificadas no território, no ecossistema escolar e nos repertórios culturais dos sujeitos envolvidos.

5. Framework TECA

O *framework* TECA organiza o desenvolvimento de tecnologias educacionais em contextos de deserto digital por meio de cinco fases articuladas: Territorialidade, Ecossistema, Cultura, Ação e Avaliação Situada. A ordem das fases oferece uma entrada metodológica para o projeto, sem converter o processo em roteiro fechado. O percurso começa pelas condições materiais que delimitam a viabilidade da tecnologia, passa pelas redes escolares que sustentam seu uso, incorpora repertórios culturais, organiza a implementação e verifica a solução em uso real. Quando a avaliação identifica problemas de operação, mediação, manutenção, apropriação ou efeito educacional, o método permite retornar à fase correspondente e revisar diagnósticos, requisitos ou decisões.

O princípio organizador do TECA é a rastreabilidade entre evidência de campo e decisão de projeto. Uma restrição observada no território ou na rotina escolar não deve permanecer apenas como descrição contextual; ela precisa ser convertida em requisito, registrada em um produto intermediário e acompanhada até a avaliação situada. Desse modo, conectividade, suporte, práticas docentes, cultura local, continuidade e avaliação passam a interferir diretamente na forma da tecnologia.

A Territorialidade registra condições físicas, geográficas, institucionais e infra-estruturais que delimitam o que pode ser construído, instalado, utilizado e mantido. O Ecossistema mapeia atores, rotinas, mediações, responsabilidades, tempos escolares e formas de sustentação do uso. A Cultura incorpora repertórios, linguagens, materialidades, acessibilidade e participação dos sujeitos nas decisões de interface, conteúdo e mediação. A Ação organiza a introdução, documentação, guarda, manutenção e acompanhamento do protótipo no cotidiano escolar. A Avaliação Situada verifica a tecnologia em uso real, considerando operação, compreensão, apropriação, manutenção, continuidade, efeitos educacionais quando medidos e necessidade de retorno ao ciclo.

Cada produto intermediário funciona como rubrica mínima de especificação. O MRT registra restrições territoriais que afetam arquitetura, instalação e operação; o MSE identifica atores, rotinas e responsabilidades que sustentam o uso; o PCS traduz repertórios culturais, linguagem e acessibilidade em decisões de interface e conteúdo; o PAS organiza entrada na escola, documentação, guarda, suporte e critérios de interrupção; e o REAS reúne evidências de uso para decidir preservação, revisão ou retorno a fases anteriores. Esses produtos não substituem instrumentos de coleta de dados, mas organizam

as evidências necessárias para justificar decisões de desenvolvimento.

A Tabela 2 apresenta os produtos intermediários do TECA, seus campos mínimos e a saída esperada em cada fase. Essa estrutura permite que outras equipes utilizem o *framework* em projetos distintos, preservando a relação entre diagnóstico situado, requisito de desenvolvimento e decisão de projeto.

Tabela 2. Produtos intermediários gerados pelas fases do *framework* TECA.

Fase	Prod.	Registra	Orienta
Territorialidade	MRT	Conectividade; energia; dispositivos; espaço físico; instalação; suporte; riscos de interrupção.	Arquitetura, operação, consumo, instalação, manutenção e dependência de rede.
Ecossistema	MSE	Atores; rotinas; tempos escolares; mediações; responsáveis; guarda; manutenção; riscos de abandono.	Uso escolar, mediação, documentação, formação, suporte e continuidade.
Cultura	PCS	Repertórios locais; linguagem; materialidade; acessibilidade; participação; conteúdo; sinais de interação.	Interface, conteúdo, exemplos, comunicação, acessibilidade e mediação pedagógica.
Ação	PAS	Entrada na escola; responsáveis; rotina de uso; documentação; manutenção; problemas; critérios de interrupção.	Implementação situada, acompanhamento, suporte, guarda e retorno ao ciclo.
Avaliação Situada	REAS	Usabilidade; compreensão; apropriação docente; manutenção; continuidade; resultados; limitações; ajustes.	Preservação, revisão ou interrupção de decisões e definição da fase de retorno.

A Figura 1 representa o encadeamento metodológico do TECA. O fluxo inicia na Territorialidade, avança pelo Ecossistema, pela Cultura e pela Ação, e chega à Avaliação Situada. A seta de retorno indica que as evidências produzidas durante o uso podem exigir revisão de diagnósticos, decisões de projeto, formas de implementação ou critérios de avaliação.

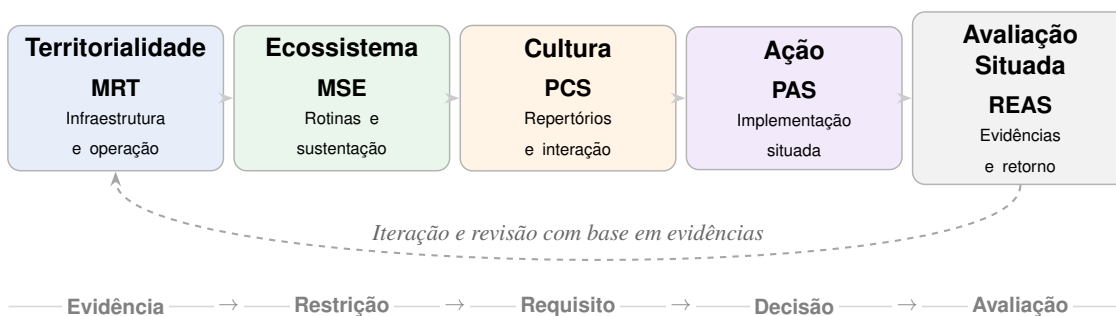


Figura 1. Encadeamento metodológico do TECA, com produtos intermediários e cadeia de rastreabilidade entre evidências, restrições, requisitos, decisões e avaliação.

As fases e os produtos intermediários operam de forma integrada na cadeia de rastreabilidade do TECA. Essa cadeia exige que cada decisão de projeto seja justificada por evidência observada, restrição sociotécnica, requisito derivado, decisão de projeto, implementação e avaliação situada. A próxima seção demonstra essa lógica a partir de uma instância longitudinal.

6. Resultados: demonstração da rastreabilidade em uma instanciación longitudinal

A aplicabilidade do TECA é discutida a partir de uma instanciación longitudinal baseada no desenvolvimento de uma tecnologia educacional tangível e multissensorial para apoio à alfabetização [Jurgina et al. 2026b]. Nesta pesquisa, os resultados demonstram a cadeia de rastreabilidade do TECA, não a mensuração de aprendizagem produzida pelo artefato. O estudo seguiu procedimentos éticos para pesquisas com seres humanos, incluindo autorização institucional, consentimento dos responsáveis e assentimento das crianças participantes.

A trajetória empírica combinou observações de campo, conversas com docentes, oficinas de cocriação, grupo focal e testes individuais de usabilidade. Participaram seis professoras alfabetizadoras e sete crianças de escolas públicas municipais no processo participativo de desenvolvimento. O grupo focal reuniu seis professoras dos anos iniciais e sete crianças de 7 a 8 anos, em sessão de aproximadamente uma hora, com mediador, dois observadores e registro audiovisual. Em etapa complementar, testes individuais com sete crianças de 7 a 10 anos seguiram roteiro de exploração, manipulação de letras físicas, montagem de palavras, interpretação de *feedback* visual e sonoro, troca de grupos de palavras e questionário com escala visual.

Na fase de Territorialidade, observações e conversas docentes indicaram conectividade instável, baixo suporte técnico, dispositivos compartilhados e pouco tempo para planejamento. Essas evidências foram convertidas em requisitos de operação local, baixo consumo, uso coletivo e baixa manutenção, materializados em um artefato tangível com operação *offline* e menor dependência de plataformas remotas. No Ecossistema, as professoras demandaram uma solução incorporável à rotina de alfabetização sem preparação extensa, treinamento técnico prévio ou reorganização ampla da sala de aula. Essa condição orientou uso direto, documentação curta, mediação docente, seleção de grupos de palavras, *feedback* imediato e montagem mediada de palavras.

Na Cultura, oficinas e grupo focal indicaram a necessidade de interação compatível com repertórios de crianças em alfabetização e com práticas docentes já presentes na sala de aula. Essas evidências foram convertidas em requisitos de tangibilidade, baixa carga textual, associação multimodal e sinais visuais simples. A prototipagem privilegiou letras físicas, associação entre palavra, imagem e som, e *feedback* visual por cores: verde para letra correta na posição esperada, vermelho para letra incorreta e azul para letra correta em posição espelhada. Na Ação, grupo focal e testes mostraram que a permanência da tecnologia dependia de caixa, encaixe das letras, organização das peças, simbologia dos botões, legibilidade da tela e procedimentos de mediação. Com isso, a implementação situada passou a incluir organização física das letras, documentação de apoio, guarda e definição de cuidados de uso.

Na Avaliação Situada, os dados do questionário aplicado às sete crianças indicaram boa compreensão de vários elementos do artefato: 100% avaliaram positivamente a facilidade de pegar as letras; 100% avaliaram positivamente o alcance das partes do dispositivo; 85,71% avaliaram positivamente a compreensão do áudio, o significado das luzes, a visibilidade das imagens na tela e a atividade de montar palavras; e 100% avaliaram positivamente a escolha dos grupos de palavras. O ponto mais sensível foi o encaixe das letras: apenas 14,29% avaliaram esse aspecto positivamente, 71,43% permaneceram neu-

tros e 14,29% avaliaram negativamente. Esse dado direcionou revisão técnica da caixa e dos encaixes.

Dois episódios ilustram o retorno ao ciclo previsto pelo TECA. O primeiro ocorreu na manipulação das letras: embora as crianças tenham avaliado positivamente o tamanho e a possibilidade de pegar as peças, observou-se dificuldade para localizar letras em superfície plana e críticas ao encaixe. O retorno às fases Territorialidade e Ação levou à proposta de material rígido, encaixes com dimensões precisas, letras com contorno ou acabamento fosco e suporte organizador. O segundo episódio envolveu a simbologia dos botões: as interações mostraram que a compreensão das funções exigia maior clareza visual e menor dependência de explicação verbal. O retorno às fases Cultura e Ação levou à proposta de simbologia universal, legendas na superfície da caixa, reposicionamento do botão de ligar e botões com aparência mais próxima de repertórios lúdicos.

A Tabela 3 organiza a cadeia de rastreabilidade observada na instanciación, destacando fonte e evidência, restrição derivada, requisito ou decisão produzida pelo TECA e retorno indicado ao ciclo.

Tabela 3. Rastreabilidade do TECA na instanciación longitudinal.

Fase	Fonte e evidência	Restrição derivada	Requisito ou decisão	Retorno ao ciclo
Territorialidade	Observações e conversas docentes: conectividade instável, pouco suporte e dispositivos compartilhados.	Dependência de rede e suporte externo poderia interromper o uso.	Operação <i>offline</i> ; uso coletivo; baixo consumo.	Materiais; arquitetura local; manutenção.
Ecosistema	Conversas docentes: uso sem preparação extensa e rotina escolar restrita.	Preparação longa reduziria adesão e continuidade.	Fluxo direto; documentação curta; mediação docente.	Documentação; mediação; rotina de sala.
Cultura	Oficinas e grupo focal: letras físicas, imagens, sons e cores.	Interação textual e abstrata dificultaria apropriação.	Interação tangível; baixa carga textual; <i>feedback</i> multimodal.	Sinais visuais; botões; legibilidade das peças.
Ação	Grupo focal e testes: guarda, organização, encaixe físico e clareza dos comandos.	Desorganização física comprometeria uso recorrente.	Caixa com encaixes; grupos de palavras; procedimentos de uso.	Caixa rígida; encaixe preciso; legendas; suporte organizador.
Avaliação Situada	Questionário visual e observação: boa aceitação geral, mas fragilidade no encaixe das letras.	Encaixe frágil prejudicaria operação e permanência.	Revisão da caixa; observação; escala visual; discussão final.	Territorialidade; Cultura; Ação.

A instanciación mostra que operação *offline*, materialidade tangível, *feedback* multimodal, baixa configuração, mediação docente, organização física das letras e revisão da caixa funcionam como respostas rastreáveis a evidências produzidas durante o desenvolvimento e a avaliação.

7. Discussão

A proposta do TECA trata infraestrutura, mediação, cultura e avaliação como componentes metodológicos do desenvolvimento. Em contextos de deserto digital, esses elementos

não operam como variáveis externas ao artefato, pois condicionam uso, continuidade, manutenção e apropriação da tecnologia educacional. Ao organizar essas dimensões em fases e produtos intermediários, o *framework* cria uma cadeia de rastreabilidade entre evidências de campo, restrições sociotécnicas, requisitos de projeto, implementação e avaliação.

Essa rastreabilidade tem implicações diretas para a Informática na Educação. O TECA permite tratar infraestrutura como requisito de desenvolvimento, e não apenas como limitação de implantação. Operação *offline*, modularidade, baixa configuração, documentação local, controle de dados e redução de dependência de plataformas deixam de ser escolhas técnicas isoladas e passam a responder a evidências produzidas na Territorialidade e no Ecossistema. Com isso, o *framework* aproxima a discussão pedagógica da especificação computacional e evita que tecnologias educacionais sejam avaliadas apenas por sua proposta didática, sem considerar as condições materiais que sustentam seu uso.

Do ponto de vista computacional, essa conversão afeta decisões de arquitetura, persistência local, dependência de rede, forma de entrada, mecanismos de *feedback*, configuração inicial, manutenção física e requisitos de privacidade. Assim, o TECA não descreve apenas o contexto escolar; ele orienta propriedades técnicas da solução educacional e torna verificável a relação entre restrição situada e escolha de implementação.

A comparação com abordagens existentes delimita a contribuição do TECA. O *Design Thinking* apoia escuta, ideação e prototipagem; a *Design Science Research* oferece base para construção e avaliação de artefatos; a *Design-Based Research* favorece ciclos em contexto real; o *Participatory Design* amplia a participação dos sujeitos afetados; e modelos como TPACK e SAMR qualificam a integração pedagógica da tecnologia. O TECA não substitui essas abordagens. Sua contribuição está em acrescentar uma camada de especificação situada para contextos em que a permanência da tecnologia depende de condições sociotécnicas frágeis, exigindo que restrições observadas sejam acompanhadas até decisões verificáveis de arquitetura, interação, mediação, manutenção e avaliação.

A instanciación longitudinal mostra como essa camada de especificação opera em um caso concreto. Operação *offline*, materialidade tangível, *feedback* multimodal, baixa configuração, mediação docente, organização física das letras e revisão da caixa apareceram como respostas rastreáveis às condições territoriais, ecológicas e culturais identificadas durante o desenvolvimento. Os dados de uso com crianças reforçaram essa função metodológica: enquanto manipulação das letras, alcance das partes do dispositivo, compreensão de áudio, luzes e tela receberam avaliações predominantemente positivas, o encaixe físico das letras apareceu como ponto de revisão. Esse resultado não foi tratado apenas como problema de usabilidade, mas como evidência para retorno às fases Territorialidade e Ação, indicando ajustes de materialidade, precisão dos encaixes, organização das peças e procedimentos de uso.

Esse modo de operar diferencia o TECA de uma lista de boas práticas. Recomendações como “usar tecnologia *offline*”, “reduzir carga textual” ou “prever mediação docente” poderiam aparecer como orientações gerais. No TECA, essas decisões precisam estar vinculadas a evidências situadas, registradas em produtos intermediários e reavaliadas durante o uso. Uma decisão técnica só se sustenta quando pode ser relacionada a uma restrição do território, a uma condição do ecossistema escolar, a um repertório

cultural, a um plano de implementação e a evidências de avaliação situada.

Para a comunidade de Informática na Educação, a proposta interfere na forma de avaliar tecnologias educacionais. Em contextos de deserto digital, não basta perguntar se o artefato possui qualidade pedagógica ou se os usuários compreenderam sua interface em uma sessão controlada. Também é preciso examinar se a tecnologia pode ser instalada, operada, mediada, guardada, mantida, compreendida e retomada nas condições reais da escola. Ao exigir rastreabilidade entre evidência, requisito, decisão e avaliação, o TECA operacionaliza o deserto digital como categoria de projeto e oferece um caminho metodológico para desenvolver tecnologias educacionais menos dependentes de condições ideais e mais atentas às formas reais de uso, cuidado e permanência nos cotidianos escolares.

7.1. Cuidados Éticos

A pesquisa foi conduzida em conformidade com as Resoluções CNS nº 466/2012 e nº 510/2016. A participação ocorreu mediante autorização institucional, consentimento dos responsáveis e assentimento das crianças.

8. Limitações e ameaças à validade

Este trabalho apresenta o TECA como *framework* de especificação situada e discute sua aplicação a partir de uma instanciación longitudinal. Essa escolha permite demonstrar rastreabilidade entre restrições sociotécnicas, requisitos e decisões de projeto, mas não substitui validações comparativas em múltiplos contextos. A instanciación analisada deriva de uma trajetória situada em escolas públicas brasileiras; por isso, sua transferência para outros territórios, níveis de ensino, componentes curriculares e tipos de tecnologia requer novas aplicações.

A validade externa é limitada porque o *framework* foi demonstrado a partir de uma tecnologia educacional tangível voltada à alfabetização, com mediação docente, manipulação física e *feedback* multimodal. Plataformas digitais, aplicativos móveis, ambientes virtuais, sistemas adaptativos ou recursos orientados por dados podem demandar novos campos nos produtos intermediários, sobretudo para interoperabilidade, governança algorítmica, privacidade e integração com sistemas institucionais.

A validade de construção também exige cautela. O conceito de deserto digital foi definido como condição sociotécnica composta por restrições materiais, institucionais, culturais e pedagógicas, mas seus indicadores ainda demandam refinamento. Embora MRT, MSE, PCS, PAS e REAS apoiem o registro dessas dimensões, ainda são necessárias rubricas mais precisas, escalas de criticidade, critérios de preenchimento e procedimentos de comparação entre aplicações.

A validade interna é afetada pelo caráter retrospectivo de parte da análise, que reorganiza decisões de desenvolvimento anteriores à formulação final do TECA. Esse procedimento permite demonstrar rastreabilidade metodológica, mas não permite afirmar que o uso do *framework* teria produzido os mesmos resultados desde o início do projeto. A conversão de evidências em requisitos também envolveu julgamento interpretativo dos pesquisadores, sem codificação independente por múltiplos avaliadores ou cálculo de concordância.

Estudos futuros devem aplicar o TECA prospectivamente em diferentes territórios e tipos de tecnologia, registrar evidências, requisitos, decisões, alternativas descartadas e retornos ao ciclo durante o desenvolvimento, refinar rubricas de criticidade para cada dimensão do deserto digital e validar os produtos MRT, MSE, PCS, PAS e REAS com docentes, gestores escolares e especialistas em Informática na Educação. O *framework* não é proposto como substituto de métodos como *Design Thinking*, *Design Science Research*, *Design-Based Research* ou *Participatory Design*; sua função é operar como camada de especificação situada articulável a esses métodos.

9. Conclusão

Este trabalho propôs o TECA como *framework* sociotécnico para orientar o desenvolvimento de tecnologias educacionais em contextos de deserto digital. A proposta parte do argumento de que conectividade, manutenção, mediação docente, cultura local, governança e avaliação não devem ser tratadas como fatores externos à tecnologia, pois constituem condições que orientam requisitos, protótipos, implementação e avaliação em uso real.

A contribuição do artigo ocorre em três frentes. Primeiro, define deserto digital como condição sociotécnica composta por restrições interdependentes que afetam a vida útil de tecnologias educacionais. Segundo, estrutura o TECA em cinco fases: Territorialidade, Ecossistema, Cultura, Ação e Avaliação Situada, associadas a cinco produtos intermediários: MRT, MSE, PCS, PAS e REAS. Terceiro, demonstra rastreabilidade em uma instanciização longitudinal, indicando como evidências de campo podem ser convertidas em requisitos, decisões de projeto e ciclos de revisão.

A instanciização apresentada mostrou que operação *offline*, materialidade tangível, *feedback* multimodal, baixa configuração, mediação docente, organização física das letras e revisão da caixa podem ser compreendidas como respostas a restrições observadas, não como atributos genéricos de *design*. A cadeia de rastreabilidade apresentada no artigo reforça que decisões técnicas, pedagógicas e organizacionais precisam ser justificadas por evidências situadas, sobretudo quando a continuidade de uso depende de condições sociotécnicas frágeis.

Ao operacionalizar o deserto digital como categoria de projeto, o TECA oferece à Informática na Educação uma forma de aproximar desenvolvimento computacional, mediação pedagógica e sustentabilidade escolar. A continuidade desta agenda requer aplicações prospectivas em outros contextos, refinamento das rubricas de criticidade e validação dos produtos intermediários com equipes escolares e especialistas. Em vez de perguntar apenas se uma tecnologia educacional funciona em condições ideais, o *framework* orienta uma questão mais adequada a contextos de restrição: sob quais condições a tecnologia pode ser instalada, compreendida, mediada, mantida e retomada no cotidiano da escola?

Declaração sobre uso de Inteligência Artificial

Em atendimento ao Código de Conduta para autores da SBC, declara-se que ferramentas de Inteligência Artificial (IA) generativa foram utilizadas como apoio à revisão textual. Os autores assumem responsabilidade integral pelo conteúdo do artigo, incluindo originalidade, citações, análises, resultados e conclusões.

Agradecimentos

Agradecemos à FAPERGS, ao CNPq e à CAPES pelo fomento à pesquisa que viabilizou este trabalho.

Referências

- Ação Educativa and Instituto Paulo Montenegro (2024). Inaf brasil 2024: 23 anos de mensuração do alfabetismo funcional. Technical report, Ação Educativa and Instituto Paulo Montenegro.
- Brown, T. (2009). *Change by Design: How Design Thinking Transforms Organizations and Inspires Innovation*. HarperBusiness, New York.
- Costanza-Chock, S. (2020). *Design Justice: Community-Led Practices to Build the Worlds We Need*. The MIT Press, Cambridge, MA.
- Henry, J. V. (2024). Theorizing ‘the gap’ twenty years later: Global development, design, and speculative ethics in edtech research. *Postdigital Science and Education*, 6:231–258.
- Hevner, A. R., March, S. T., Park, J., and Ram, S. (2004). Design science in information systems research. *MIS Quarterly*, 28(1):75–105.
- Instituto Nacional de Estudos e Pesquisas Educacionais Anísio Teixeira (2024). Censo escolar da educação básica 2023: Resumo técnico. Technical report, Ministério da Educação, Brasília.
- Jurgina, L. Q., da Rosa Júnior, L. S., de Aguiar, M. S., and Primo, T. T. (2026a). Construção de uma interface tangível com feedback multimodal para apoio à alfabetização de crianças com dislexia. *Revista Brasileira de Informática na Educação*, 34:189–218.
- Jurgina, L. Q., Gill Aquini, L., Da Rosa, L. S., Moreira, F., and Primo, T. T. (2026b). Design thinking construction and focus group evaluation of a device with a tangible interface in global south digital desert contexts. In *2026 IEEE Global Engineering Education Conference (EDUCON)*, pages 1–10.
- Kelly, M., Clausen, J., Hansen-Thomas, H., and Stewart, C. (2019). Highlighting the importance of context in the tpack model: Three cases of non-traditional settings. *Issues and Trends in Learning Technologies*, 7(1).
- Park, K. (2020). A case study of the application of samr and tpack for reflection on technology integration into two social studies classrooms. *Journal of Research on Technology in Education*, 52(4):481–501.
- Peffers, K., Tuunanen, T., Rothenberger, M. A., and Chatterjee, S. (2007). A design science research methodology for information systems research. *Journal of Management Information Systems*, 24(3):45–77.
- Peixoto, J. and Araújo, C. H. d. S. (2012). Tecnologia e educação: Algumas considerações sobre o discurso pedagógico contemporâneo. *Educação & Sociedade*, 33(118):253–268.
- Simonsen, J. and Robertson, T., editors (2012). *Routledge International Handbook of Participatory Design*. Routledge, New York.

The Design-Based Research Collective (2003). Design-based research: An emerging paradigm for educational inquiry. *Educational Researcher*, 32(1):5–8.

UNESCO (2023). *Global Education Monitoring Report 2023: Technology in Education: A Tool on Whose Terms?* UNESCO, Paris.

van Zyl, C., Badenhorst, M., Hanekom, S., and Heine, M. (2021). Unravelling low-resource settings: A systematic scoping review with qualitative content analysis. *BMJ Global Health*, 6(6):e005190.