COMO CITAR (Estilo Vancouver):
Teixeira E, Primo CC, Salbego C, Nascimento MHM organizadores. Avaliação de tecnologias: abordagens e pesquisas. Brasília, DF: Editora ABEn; 2026. 180 p. ISBN 978-65-89112-30-3.
doi: https://doi.org/10.51234/aben.26.e32

CAPÍTULO III

A MATURIDADE DA TECNOLOGIA PRODUZIDA NA ENFERMAGEM: EXEMPLOS DE APLICABILIDADE

Ivone Evangelista Cabral [I, II]
ORCID: 0000-0002-1522-9516

Fernanda de Nazaré Almeida Costa [II, III]
ORCID: 0000-0002-0544-4378

Mariela Mamani Lliulli [IV]
ORCID: 0009-0004-9929-7322

Silvia Teresa Carvalho de Araújo [II]
ORCID: 0000-0002-2137-7830

Como citar:
Cabral IE, Costa FNA, Lliulli MM, Araújo STC. A maturidade da tecnologia produzida na enfermagem: exemplos de aplicabilidade. In: Teixeira E, Primo CC, Salbego C, Nascimento MHM organizadores. Avaliação de tecnologias: abordagens e pesquisas. Brasília, DF: Editora ABEn; 2026. p. 31-47. doi: https://doi.org/10.51234/aben.26.e32_cap3

Autora Correspondente:
Ivone Evangelista Cabral
E-mail: icabral444@gmail.com



[I] Universidade do Estado do Rio de Janeiro (UERJ), Rio de Janeiro, RJ, Brasil.
[II] Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ), Rio de Janeiro, RJ, Brasil.
[III] Universidade do Estado do Pará (UEPA), Belém, PA, Brasil.
[IV] Universidad San Misael Saracho (USMS), La Paz, Bolivia

INTRODUÇÃO

As mudanças tecnológicas ocorridas nas últimas décadas têm promovido transformações significativas no setor da saúde, alterando processos de cuidado, de gestão e de ensino. No âmbito da enfermagem, tais avanços têm favorecido o desenvolvimento e a incorporação de novas tecnologias nos cenários práticos.

A tecnologia é o uso de conhecimentos e habilidades aplicados a dispositivos, medicamentos, vacinas, procedimentos e sistemas para solucionar problemas de saúde [1]. As tecnologias, na área da saúde, apresentam múltiplos usos e finalidades, englobam desde recursos tangíveis, como dispositivos ou equipamentos, até produtos intangíveis, como protocolos clínicos ou plataformas educacionais. São aplicadas em contextos variados e a públicos de perfis diversos, refletindo a complexidade e a diversidade dos cenários de cuidado. Estendem-se à promoção e prevenção, ao diagnóstico, tratamento, reabilitação e educação em saúde e permanente, integrando dimensões técnicas, pedagógicas e relacionais que qualificam o cuidado e consolidam-se como mediação entre o conhecimento científico e a prática, promovendo inovação com sensibilidade e compromisso ético [2-4].

Além disso, observa-se ampla variabilidade na forma como são desenvolvidas, testadas, validadas e implementadas em diferentes cenários assistenciais, educacionais e gerenciais. À medida que as tecnologias se diversificam e se consolidam como produtos científicos e assistenciais, torna-se imprescindível compreender o seu processo de desenvolvimento, bem como o nível de maturidade alcançado pelo produto, informações necessárias para orientar decisões relativas a testes clínicos, validação, implementação, escalonamento e investimento em inovação. O acompanhamento sistemático do ciclo de vida tecnológico contribui para reduzir as

lacunas entre a pesquisa e a prática, promovendo maior efetividade e sustentabilidade das inovações no cuidado em saúde [2-3].

Nesse contexto, torna-se relevante adotar métricas reconhecidas internacionalmente que permitam acompanhar o ciclo de vida das tecnologias, desde a concepção até a aplicação no cuidado [3-5].

Uma das escalas utilizadas para medir o grau de maturidade ou prontidão tecnológica é a *Technology Readiness Level* (TRL), métrica originalmente concebida pela NASA nos anos 1970, que avalia o grau de maturidade de tecnologias desenvolvidas para programas espaciais, em 9 níveis [6-9]. O uso da TRL cria uma linguagem comum que permite quantificar, de forma sistemática, em que fase de desenvolvimento uma tecnologia se encontra, desde os princípios básicos até sua operação em condições reais. (Figura 1)

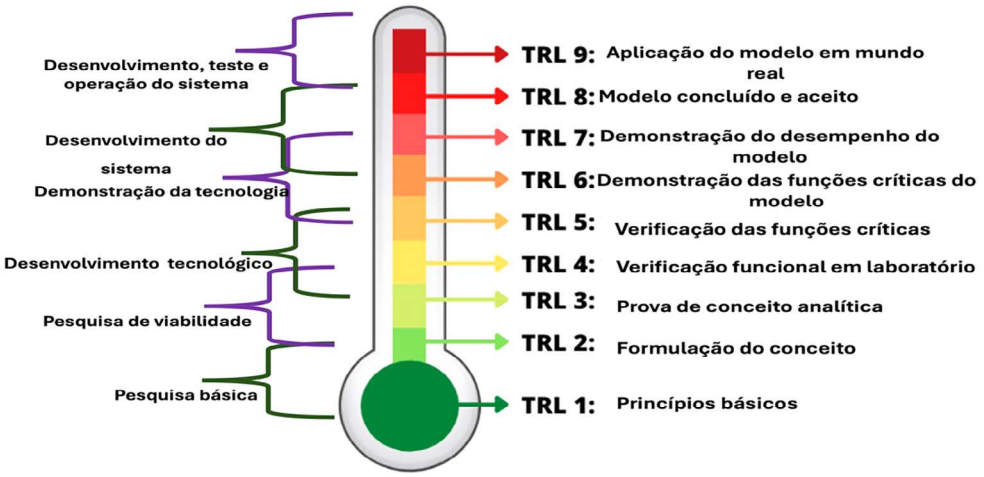


Figura 1. Níveis de maturidade tecnológica, versão adaptada do documento da FINEP/MCTI[10]
Fonte: adaptado de Mankins (1995)

Os Níveis de Prontidão Tecnológica (*Technology Readiness Levels* – TRL) constituem um modelo sistemático de avaliação da maturidade de uma tecnologia ao longo de seu processo de desenvolvimento, desde a formulação conceitual inicial até a validação em condições operacionais reais [8-10].

A pesquisa básica corresponde aos níveis TRL 1 e 2. No TRL 1, situam-se as observações iniciais e o registro dos princípios científicos e tecnológicos que fundamentam a inovação. O TRL 2 refere-se à formulação do conceito tecnológico, etapa em que se definem suas características essenciais e possíveis aplicações.

A pesquisa de viabilidade abrange do TRL 2 ao TRL 4. No TRL 3, realiza-se a demonstração analítica e experimental do conceito, por meio de testes preliminares destinados a verificar sua viabilidade. Já o TRL 4 corresponde à validação da tecnologia em ambiente laboratorial controlado. Nessa fase, o protótipo encontra-se apto a iniciar sua aplicação em condições controladas, com foco na avaliação de sua viabilidade.

O desenvolvimento da tecnologia estende-se parcialmente do TRL 3 ao TRL 5. Nesse percurso, o produto avança em maturidade até alcançar o TRL 5, caracterizado pela validação em ambiente relevante, isto é, em condições que se aproximam do contexto real de uso, embora ainda não esteja pronto para utilização plena. Nessa etapa, as propriedades funcionais do protótipo são testadas em laboratório, com verificação de suas funções críticas.

A demonstração da tecnologia abrange do TRL 5 ao TRL 7. No TRL 6, desenvolve-se e testa-se um protótipo em um ambiente relevante e semelhante ao real. Já o TRL 7 envolve sua demonstração, com o objetivo de comprovar as funções críticas e o desempenho do protótipo ou do modelo.

O desenvolvimento do sistema, ainda em ambiente relevante, inicia-se no TRL 6 e se estende até o TRL 8, etapa em que o protótipo é concluído e reconhecido como apto para produção e implementação. Neste nível, o sistema está qualificado e finalizado.

Nos níveis TRL 8 e 9, o desenvolvimento do sistema, a testagem e a operabilidade atingem o estágio mais avançado da maturidade tecnológica, caracterizado pela aplicação bem-sucedida do produto em ambiente operacional real. Nessa fase, a tecnologia demonstra condições efetivas de uso, com funções críticas consolidadas e desempenho compatível com as exigências do contexto real de aplicação.

Assim, o desenvolvimento de uma tecnologia percorre diferentes contextos, desde o ambiente acadêmico, voltado à produção do conhecimento, até os ambientes laboratoriais, relevantes e operacionais, avançando da concepção da ideia à construção do modelo ou protótipo, até alcançar a condição de produto final.

A aplicação da escala TRL a uma tecnologia em franco processo de produção, inicialmente prevista para o contexto aeroespacial e expandida para além dele, vem sendo amplamente utilizada por setores como a defesa, os sistemas de energia, os softwares complexos, a indústria automotiva e a de manufatura [5]. Para atender às demandas específicas de diferentes contextos de uso, torna-se indispensável realizar ajustes tanto no escopo quanto na terminologia da escala TRL original, de modo a atender às demandas de cada setor [9-10]. Esses ajustes são necessários porque cada área apresenta particularidades conceituais, operacionais e regulatórias que influenciam a percepção e a mensuração da maturidade tecnológica.

Assim, a simples transposição da escala, sem adaptações, pode resultar em interpretações imprecisas ou insuficientes. Em setores como a saúde, a avaliação da prontidão ou da maturidade tecnológica deve considerar dimensões éticas, assistenciais, pedagógicas e de segurança, que vão além do caráter técnico da escala criada pela NASA.

As tecnologias desenvolvidas pela enfermagem, como dispositivos de monitoramento, tecnologias de cuidado, tecnologias educacionais e telenfermagem, apresentam características distintas das tecnologias industriais ou aeroespaciais. Nesse contexto, o desenvolvimento de tecnologias envolve múltiplos atores, variados contextos de cuidado, fluxos de trabalho clínicos e a identificação de barreiras e facilitadores à sua implementação prática, além de impactar práticas de cuidado que não são apenas tecnológicas, mas também sociotécnicas (5). Portanto, aplicar a escala TRL à área de saúde implica reinterpretar seus níveis à luz das etapas de desenvolvimento, validação e implementação características de cada domínio, garantindo maior coerência, aplicabilidade e validade científica[9].

Entre as particularidades que envolvem o desenvolvimento de tecnologias em enfermagem, destaca-se a necessidade de considerar: critérios de aplicabilidade clínica para profissionais e pacientes; a integração ao fluxo de cuidado e às rotinas de trabalho; as condições assistenciais nas quais as tecnologias são aplicadas; e, ainda, a avaliação da evidência clínica e da efetividade em contextos reais de prática, e não apenas em ambientes laboratoriais.

É nesse contexto que duas pesquisas de desenvolvimento e inovação em curso de doutorado aplicaram a TRL para avaliar o nível de desenvolvimento alcançado por duas tecnologias resultantes de suas dissertações de mestrado. Na primeira dissertação, a segunda autora deste capítulo desenvolveu um *role-playing game* para ser aplicado como tecnologia de cuidados a crianças e adolescentes em hemodiálise[11]; na segunda, a terceira autora desenvolveu um aplicativo de administração de medicamentos em uma unidade de cuidados intensivos neonatais (criado em 2019 e implementado a partir dessa data) [12].

Contudo, em ambas, ao finalizar o processo de desenvolvimento, desconhecia-se em que estágio cada uma das tecnologias se encontrava e o que ainda poderia ser desenvolvido numa tese de doutorado. A aplicação da escala TRL a uma tecnologia em franco processo de produção, inicialmente prevista para o contexto aeroespacial e expandida para além dele, vem sendo amplamente utilizada por setores como a defesa, os sistemas de energia, os softwares complexos, a indústria automotiva e a de manufatura[5]. Para atender às demandas específicas de diferentes contextos de uso, torna-se indispensável realizar ajustes tanto no escopo

quanto na terminologia da escala TRL original, de modo a atender às demandas de cada setor [9-10]. Esses ajustes são necessários porque cada área apresenta particularidades conceituais, operacionais e regulatórias que influenciam a percepção e a mensuração da maturidade tecnológica.

OBJETIVO

Descrever a experiência de aplicação da escala *Technology Readiness Level* (TRL) em duas tecnologias de enfermagem, desenvolvidas no Brasil e na Bolívia; demonstrar a utilização da escala como recurso para prosseguir no desenvolvimento das tecnologias em uma tese de doutorado (uma concluída e outra em andamento); e refletir criticamente sobre a aplicabilidade da TRL ao desenvolvimento e à inovação de tecnologias na enfermagem.

MÉTODO

Adotou-se o relato de experiência descritivo como método de estudo [13], cuja produção do conhecimento pauta-se numa vivência acadêmica ou profissional vinculada a um dos pilares da formação universitária: ensino, pesquisa ou extensão. Sua principal característica é a apresentação detalhada da intervenção ou da atividade realizada. Para sua elaboração, são indispensáveis a fundamentação científica consistente e a reflexão crítica.

O roteiro do relato é composto por 22 elementos, organizados em seis seções: introdução, procedimentos metodológicos, resultados, discussão, considerações finais e referências [13]. A introdução, composta por dois elementos, abrange o referencial teórico e o objetivo. Recomenda-se apresentar os principais conceitos relacionados ao tema, justificar a necessidade e a relevância do relato e explicitar a motivação para sua elaboração. Essa seção se encerra com a apresentação do objetivo do estudo. Em consonância com as recomendações para essa seção, a introdução abordou o conceito de nível de maturidade tecnológica e sua recorrente utilização na avaliação de tecnologias desenvolvidas em diferentes campos do conhecimento, bem como seu potencial de aplicação à área da saúde e, em particular, à enfermagem. Desse modo, evidenciou-se a relevância da temática e delimitou-se o estudo por meio da definição de seus objetivos.

A segunda seção, referente aos procedimentos metodológicos, reúne 11 elementos: recorte temporal, descrição do local, eixo da experiência, caracterização da atividade relatada, tipo de vivência, público-alvo da intervenção (quando aplicável), recursos, ação, instrumentos, critérios de análise e aspectos éticos.

Em conformidade com as orientações da segunda seção, definiu-se como recorte temporal os anos de 2025 e 2026, correspondentes, respectivamente, à tese de doutorado já concluída e à tese em desenvolvimento. O primeiro recorte refere-se à pesquisa defendida no Programa de Pós-Graduação em Enfermagem da Universidade Federal do Rio de Janeiro, de autoria da segunda autora, sob a orientação da última autora, cuja aprovação ética está documentada nos Pareceres n.º 5.799.160 e n.º 6.685.105.

O segundo recorte temporal corresponde à tese atualmente em desenvolvimento no Curso de Doutorado da Universidad San Misael Saracho, na Bolívia, elaborada pela terceira autora, sob a orientação da primeira autora. Quanto aos aspectos éticos, o projeto foi aprovado pelo Comité de Ética en Investigación (CEI) do hospital onde a pesquisa está sendo conduzida, em conformidade com a legislação boliviana.

Em ambas as investigações, a escala TRL foi empregada para avaliar o nível de maturidade tecnológica de produtos resultantes de processos de desenvolvimento e inovação, sendo o primeiro um jogo educativo e o segundo, um aplicativo móvel.

No que se refere à primeira tese, intitulada "Avaliação de um *Role-Playing Game* sobre adesão de adolescentes à hemodiálise", a aplicação da escala TRL teve por objetivo identificar o estágio de desenvolvimento da tecnologia e definir o ponto de partida para a continuidade de seu aprimoramento, considerando que o produto ainda não havia sido implementado em contexto real.

Na segunda tese, a aplicação da escala constituiu o segundo objetivo da pesquisa, voltado à determinação do nível de maturidade tecnológica do aplicativo móvel PediatriaApp®, um guia para a administração de medicamentos em recém-nascidos. Esse aplicativo já vinha sendo utilizado, desde 2019, por profissionais de enfermagem de uma unidade de terapia intensiva neonatal de um hospital de alta complexidade, na Bolívia.

Ressalta-se que ambos os produtos alcançaram os primeiros níveis de maturidade tecnológica em suas respectivas dissertações de mestrado, concluídas em 2019 [10-11].

Na terceira seção, são apresentados os resultados da experiência, com destaque para as principais vivências.

Para a apresentação dos resultados, optou-se por descrever separadamente cada uma das produções acadêmicas, a fim de assegurar maior clareza expositiva e organização analítica. Assim, a exposição foi iniciada pela tese de doutorado já concluída e, em seguida, pela tese ainda em desenvolvimento. Em ambos os casos, utilizou-se a ferramenta on-line Avalcheck [13], desenvolvida pela Universidade Federal de Sergipe e disponível em https://www.agitte.se/avalmais, para determinar o nível de maturidade tecnológica do jogo e do aplicativo. A ferramenta sistematiza a análise das evidências associadas aos nove níveis de prontidão tecnológica, desde a concepção inicial até a aplicação em contexto real, o que conferiu maior rigor metodológico à identificação do estágio de desenvolvimento de ambos os produtos e ao planejamento das etapas subsequentes de validação e consolidação da tecnologia.

A quarta seção corresponde à discussão e contempla cinco elementos: articulação entre o relato e a literatura, comentários sobre as informações apresentadas, análise dos dados, dificuldades e potencialidades.

Optou-se por desenvolver a discussão do relato com base nos achados decorrentes da aplicação da escala, articulando-os, de forma reflexiva, à literatura internacional que utilizou a TRL na área da saúde como instrumento de avaliação da maturidade tecnológica. Destacaram-se as limitações e as potencialidades do uso dessa escala, com indicação de rotas alternativas para seu emprego.

A penúltima seção é composta pelas considerações finais, organizadas em dois elementos: a finalidade, que indica se o objetivo proposto foi alcançado, e a proposição, que aponta possibilidades de continuidade ou aspectos não desenvolvidos. Por fim, apresentam-se as referências utilizadas no relato de experiência. Em face do exposto, a aplicação da escala adaptada aos dois produtos de enfermagem orientou-se pelo que foi descrito na Figura 1.

RESULTADOS

A TESE DE DOUTORADO CONCLUÍDA - AVALIAÇÃO DO *ROLE-PLAYING GAME* NEFRO HERO® SOBRE ADESÃO DE ADOLESCENTES À HEMODIÁLISE: UM ESTUDO DE DESENVOLVIMENTO

O primeiro relato tem por finalidade explicitar as razões que justificam a descrição da experiência de criação do *Role-Playing Game* e apresentar os principais resultados decorrentes da aplicação da escala TRL e do uso da calculadora Avalcheck® ao longo do percurso de desenvolvimento da tecnologia.

O desenvolvimento do *Role-Playing Game* (RPG) denominado Nefro Hero® foi fundamentado em evidências científicas, com o propósito de subsidiar a elaboração do conteúdo técnico, das mecânicas e dos elementos de gamificação. Esse processo foi conduzido de forma sequencial, iniciando-se pela síntese de evidências sobre os principais fatores relacionados à adesão terapêutica de crianças e adolescentes ao tratamento hemodialítico. Uma etapa do desenvolvimento de uma pesquisa de dissertação de mestrado no ambiente acadêmico, correspondente à pesquisa básica sobre o conhecimento disponível acerca do cuidado de adolescentes em hemodiálise.

Na etapa subsequente, correspondente à pesquisa de viabilidade, realizaram-se a formulação e a prova de conceito, contemplando o design dos elementos do jogo, a elaboração das narrativas que comporiam seus desafios e a verificação funcional de um protótipo minimamente viável. Durante o desenvolvimento

tecnológico, foram realizados testes em ambiente laboratorial para verificar as funções essenciais do jogo. Essas atividades envolveram a participação de membros de um grupo de pesquisa dedicado à elaboração de jogos e de estratégias de gamificação aplicadas aos setores da saúde e da educação. A dissertação de mestrado conclui-se com o RPG Nefro Hero, que foi avaliado exclusivamente em ambiente laboratorial e apresenta potencial para avançar até o nível TRL 5.

Posteriormente, no âmbito da formação doutoral, foram desenvolvidas novas etapas investigativas com o RPG Nefro Hero®, voltadas à avaliação de múltiplas propriedades do jogo e à inclusão de diferentes atores no processo de cuidado de adolescentes em hemodiálise. Esse percurso teve como etapa inicial a identificação do nível de maturidade tecnológica da ferramenta, por meio da aplicação da escala *Technology Readiness Level* (TRL). Com base nas 12 questões do instrumento e nos 9 níveis da escala, o Avalcheck [14] indicou que o RPG Nefro Hero® atingiu o nível 5 de maturidade tecnológica, evidenciando sua aptidão para aplicação em ambiente relevante (Figura 2).

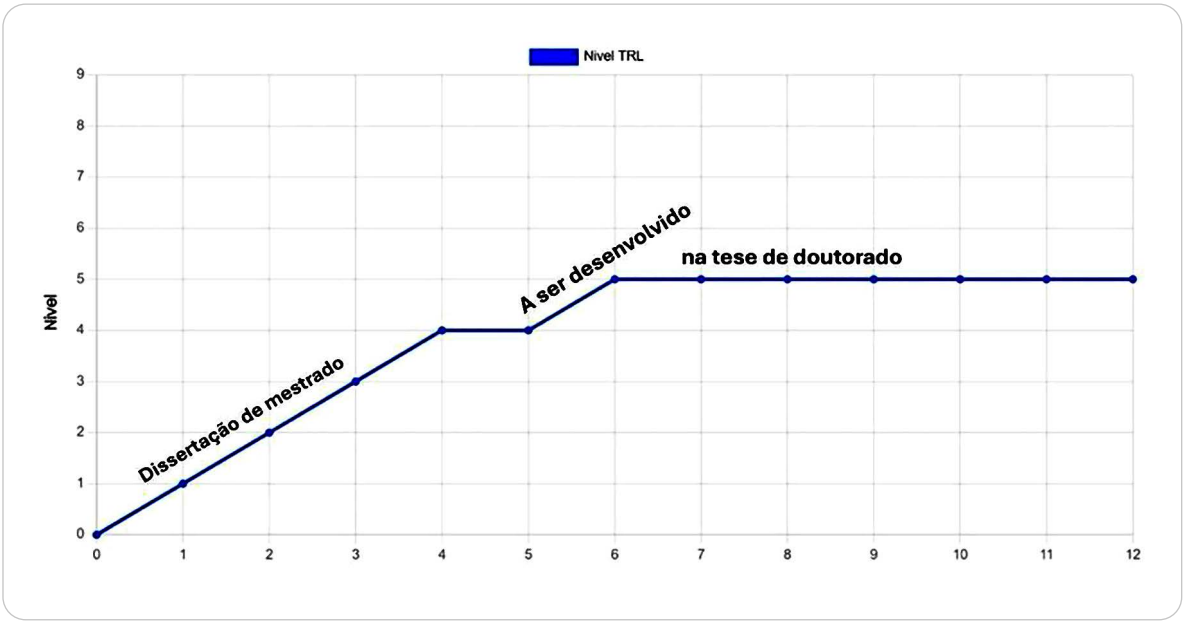


Figura 2. Gráfico do RPG Nefro Hero®: o que foi feito e o que falta para finalizá-lo, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.
Fonte: Autores, 2025

Após a avaliação da maturidade tecnológica, a pesquisa de doutorado passou a se concentrar na análise da adequação do RPG Nefro Hero® quanto ao conteúdo científico, à aparência, à ludicidade e à aplicabilidade para promover a adesão de adolescentes ao tratamento hemodialítico. Esse percurso investigativo iniciou-se com a avaliação do conteúdo por especialistas em nefrologia pediátrica, seguida da análise de aparência por especialistas em design de jogos e, posteriormente, da avaliação de adequação junto a pais e profissionais de saúde atuantes em nefrologia. Com base nessas etapas, foi possível descrever a evolução da maturidade tecnológica do jogo e seu potencial de incorporação ao cuidado.

Na correspondência entre as etapas do desenvolvimento do jogo e os níveis de maturidade tecnológica, buscou-se avançar na validação do jogo em ambiente relevante, isto é, em contexto próximo ao uso real, com a participação de pais. Nessa fase, as propriedades funcionais do protótipo, previamente testadas em ambiente laboratorial, foram novamente avaliadas para verificar suas funções críticas. Sob essa perspectiva, a testagem do protótipo em ambiente relevante e semelhante ao real insere-se na etapa de demonstração da

tecnologia, correspondente aos níveis TRL 5 a 7. No TRL 7, essa demonstração teve por finalidade comprovar o desempenho do protótipo e a consistência de suas funções críticas.

Ainda no âmbito da demonstração da tecnologia, destacou-se a participação do adolescente, público-alvo do jogo, na avaliação da ludicidade, voltada à análise de aspectos relacionados à jogabilidade, à aprendizagem e às percepções suscitadas pela experiência com o jogo durante o tratamento hemodialítico. Por fim, procedeu-se à avaliação da aplicabilidade da tecnologia com profissionais atuantes na hemodiálise pediátrica.

Assim, após percorrer sucessivas etapas de avaliação, com a participação de diferentes públicos e perspectivas analíticas, o jogo passou por modificações em seus elementos estruturais, mecânicos e narrativos, com vistas a ampliar sua adequação, seu potencial educativo e sua experiência lúdica. Na etapa de desenvolvimento do sistema para aplicação do jogo em ambiente relevante, correspondente aos níveis TRL 6 a 8, o protótipo foi progressivamente qualificado até se tornar apto à produção e à implementação. Nesse processo, foram necessárias intervenções para aprimorar o produto até alcançar o nível de maturidade TRL 7, com a reaplicação da escala Avalcheck®. (Figura 3)

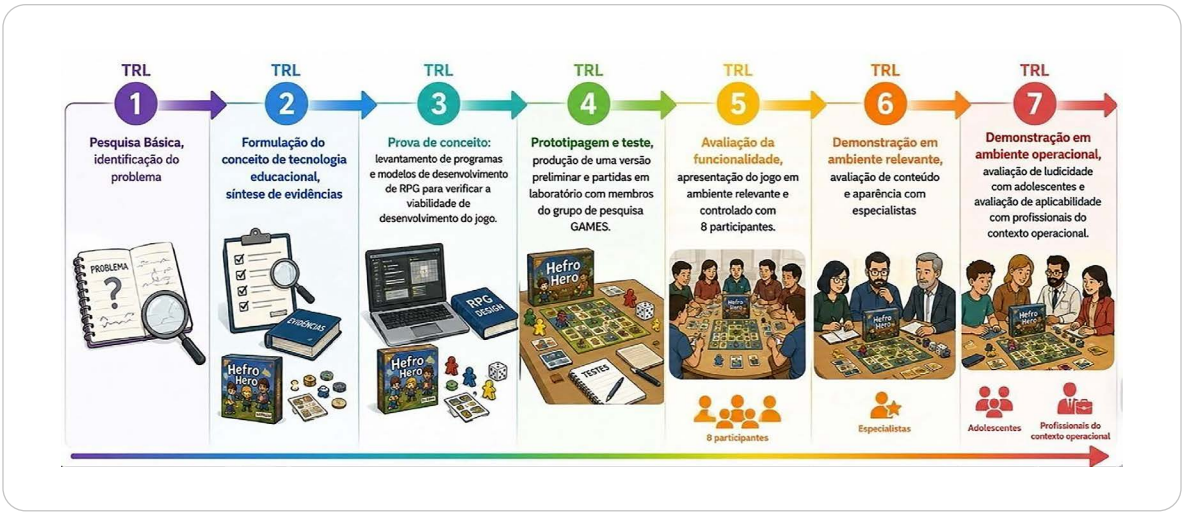


Figura 3. Nível de maturidade tecnológica alcançado pelo RPG Nefro Hero®, demonstrado em ambiente operacional, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.
Fonte: Autores, 2025
Nota: Infográfico gerado por inteligência artificial do NotebookLM® com o comando "elabore uma imagem do nível de maturidade tecnológica alcançado pelo RPG Nefro Hero®, considerando a descrição dos níveis de TRL adotado pela FINEP [10].

A incorporação da escala TRL ao percurso investigativo constituiu um marco no amadurecimento da pesquisa, ao evidenciar que tecnologias educacionais desenvolvidas pela enfermagem também podem ser reconhecidas como produtos inovadores passíveis de avaliação tecnológica sistemática. Além disso, sua aplicação permitiu identificar avanços na construção conceitual do jogo, no desenvolvimento do protótipo funcional, na realização de testes preliminares e na necessidade de ampliar os estudos em cenários reais de utilização.

Essa experiência reforçou a compreensão de que o desenvolvimento tecnológico em enfermagem exige rigor metodológico, avaliação contínua e articulação entre ciência, cuidado e inovação. Nessa perspectiva, o percurso de desenvolvimento do Nefro Hero® mostra-se alinhado aos critérios que caracterizam tecnologias com níveis mais elevados de maturidade, uma vez que passou por diferentes estágios, desde sua concepção teórica até a aproximação a contextos reais de uso. A trajetória investigativa do jogo compreendeu etapas sucessivas de construção, avaliação e refinamento, com a participação de diferentes atores sociais e especialistas, o que contribuiu para o fortalecimento das evidências de validade, aplicabilidade e potencial de incorporação da tecnologia em cenários assistenciais.

A TESE DE DOUTORADO EM ANDAMENTO –APLICATIVO MÓVEL PEDIATRIAAPP®" - GUIA DE ADMINISTRAÇÃO DE MEDICAMENTOS EM RECÉM-NASCIDOS

No presente relato, objetiva-se explicitar os fundamentos que justificam a descrição da experiência de desenvolvimento do Aplicativo Móvel PediatriaApp®, bem como apresentar os principais resultados decorrentes da aplicação da escala TRL e da utilização da calculadora Avalcheck ao longo do percurso de desenvolvimento dessa tecnologia.

O desenvolvimento de um aplicativo móvel, concebido como recurso de apoio à preparação e à administração de medicamentos em uma unidade de terapia intensiva neonatal (UTIN), fundamentou-se na relevância crítica dessas etapas para a recuperação da saúde do recém-nascido e para a promoção da segurança no cuidado de enfermagem. Nesse contexto, investigou-se o conhecimento da equipe de enfermagem sobre a administração de medicamentos em um hospital de terceiro nível com UTIN na Bolívia [12]. Os resultados evidenciaram que 70% das participantes, correspondentes a uma amostra de 17 enfermeiras especialistas em neonatologia, referiram conhecimento regular sobre a temática e identificaram a inexistência de orientações específicas no serviço. Além disso, assinalaram a necessidade de diretrizes voltadas a essa finalidade e reconheceram que o formato móvel poderia favorecer significativamente a execução dessas atividades. Em resposta a essa demanda, o aplicativo PediatriaApp® foi estruturado em etapas sucessivas de desenvolvimento.

A pesquisa básica que subsidiou a identificação da necessidade tecnológica ancorou-se na investigação de campo anteriormente descrita, por meio da qual foram reconhecidos os fundamentos essenciais à formulação do conteúdo e à definição da modalidade tecnológica a ser desenvolvida.

Após o levantamento das necessidades do público-alvo, constituído por enfermeiras, procedeu-se à aplicação de uma lista de verificação dos principais medicamentos utilizados na unidade, tendo como fonte de dados os prontuários de crianças internadas no ano anterior [11]. Na etapa subsequente, os medicamentos foram organizados em grupos, a saber: antibióticos, eletrólitos, anticonvulsivantes, inotrópicos/vasoativos, analgésicos/sedativos e corticosteroides. Para cada categoria, priorizaram-se os cuidados de enfermagem relacionados à administração, contemplando aspectos como armazenamento, reconstituição, vias e tempo de administração, incompatibilidades, efeitos adversos, doses e diluições mais comumente usadas na UTIN.

Ambas as etapas corresponderam aos níveis TRL 1 e TRL 2. O primeiro refere-se aos princípios básicos que fundamentaram o avanço para o segundo nível de maturidade tecnológica, relativo à formulação do conceito, ao planejamento do conteúdo e à proposição da arquitetura do aplicativo. Essa etapa foi materializada por meio de um esboço manuscrito, elaborado com a finalidade de visualizar a integração do conteúdo de cada grupo de medicamentos nas telas iniciais do futuro aplicativo móvel, bem como de subsidiar a definição do nome e da identidade visual da tecnologia.

A etapa subsequente consistiu na definição do conteúdo científico, baseada na lista de medicamentos mencionada previamente, tendo como referência bibliográfica o Manual de Prescrição Pediátrica, da American Pharmacists Association [15], para a consulta dos medicamentos de cada grupo. Além disso, para a formulação do conceito de tecnologia de aplicativo móvel, buscou-se avaliar a viabilidade técnica e financeira de seu desenvolvimento. Nesse processo, a parceria estabelecida entre a terceira autora e um profissional da área de engenharia da computação mostrou-se fundamental para a realização da prova de conceito analítica, possibilitando o avanço da tecnologia do nível TRL 3 ao TRL 4.

Para o desenvolvimento da tecnologia, optou-se por utilizar uma plataforma específica para estruturar a primeira versão do protótipo do aplicativo móvel PediatriaApp®. O protótipo foi desenvolvido para o sistema Android, plataforma amplamente difundida e recomendada pelo Google®. O processo de criação do aplicativo consistiu na elaboração do projeto, na seleção de um modelo inicial (*template*), na configuração do nome e do pacote, no delineamento da interface, na programação do código, na testagem do aplicativo e, por fim, na geração do arquivo APK ou AAB.

Os testes de funcionalidade em ambiente laboratorial e a verificação das funções críticas contaram com a participação de um comitê de especialistas, composto por seis enfermeiras e dois médicos atuantes em unidade de terapia intensiva neonatal, o que corresponde aos níveis de maturidade tecnológica TRL 4 e TRL 5. Os participantes interagiram com o sistema, revisaram as telas e avaliaram seu funcionamento por meio da versão em espanhol do instrumento AGREE II (2009), amplamente utilizado para subsidiar a tomada de decisão sobre a incorporação de diretrizes de prática clínica em serviços de saúde.

O AGREE II foi proposto para avaliar a qualidade metodológica de diretrizes de prática clínica em seis domínios [16]. Os principais elementos incluem: Alcance e Propósito, Participação das partes interessadas, Rigor no desenvolvimento, Clareza na exposição, Aplicabilidade e Independência editorial. O instrumento dispõe de 23 perguntas, cujas respostas são avaliadas em uma escala de 7 pontos, variando de discordância (1) a concordância total (7).

Na etapa de demonstração do aplicativo móvel, correspondente a TRL 5, buscou-se avaliar suas funções críticas e seu desempenho com base nos resultados da aplicação do AGREE II, conduzida pelo comitê de especialistas.

Após a validação pelo comitê de especialistas, o aplicativo foi disponibilizado no Google Play Store para dispositivos Android, com acesso gratuito sob a denominação PediatriaApp® (TRL 6). Sua disponibilização teve por finalidade contribuir para a melhoria da qualidade e da segurança da assistência prestada aos pacientes internados, além de fomentar o uso de tecnologias científicas na enfermagem e colaborar para a redução de erros de medicação. Posteriormente, a ferramenta foi compartilhada com a equipe de enfermagem da UTIN, obtendo adesão integral dos profissionais e o compromisso com a avaliação e a atualização contínuas (TRL 7).

A Figura 4 apresenta uma sequência de telas do aplicativo PediatriaApp®, começando pela interface principal, representada na imagem "a", com o nome da instituição, a unidade de preparo das medicações e dos frascos de diluentes. Na segunda tela, os grupos de medicamentos são exibidos pelo ícone do aplicativo, conforme a imagem "b". Ao selecionar um dos grupos, o usuário é direcionado para uma tela com informações sobre reconstituição, modo de administração (direta, intermitente ou contínua), soluções compatíveis e observações. As imagens "c" e "d" exemplificam o acesso ao conteúdo sobre a administração de antibióticos, com destaque para a amoxicilina-ácido clavulanato, redigido em espanhol boliviano, idioma adotado no aplicativo.

Desde 2019, o PediatriaApp® vem sendo utilizado como guia para a administração de medicamentos em recém-nascidos, após aprovação por um comitê avaliador, com indicativo de que novos painéis de especialistas deveriam assumir o compromisso de revisar periodicamente o produto, a fim de assegurar sua relevância e adequação ao uso contínuo na prática clínica; caso contrário, prevê-se sua atualização ou descontinuação. Nesse contexto, com vistas à segurança do paciente, torna-se necessária a avaliação contínua de sua maturidade tecnológica, de sua usabilidade e de seu conteúdo. Para prosseguir com o desenvolvimento das demais etapas do processo de inovação tecnológica do aplicativo PediatriaApp®, aplicado ao mundo real, questiona-se: Qual é o nível de maturidade tecnológica atingido pelo "PediatriaApp®" utilizado nesta unidade após sete anos de usabilidade?

Em resposta a essa pergunta, aplicou-se a calculadora Avalcheck, disponível no link (https://avalchek.netlify.app/avaliacao.html) de acesso a ciências da saúde, na versão em português)

A pontuação máxima, equivalente a 7 pontos em todos os domínios, indicou que o PediatriaApp® se fundamentou em evidências, apresentou qualidade de conteúdo satisfatória e potencial de aplicabilidade em distintos contextos clínicos.

Por um lado, esses achados permitem reconhecê-lo como uma inovação tecnológica com potencial para qualificar o trabalho de enfermagem tanto no âmbito assistencial quanto no educativo, em cenários de cuidado neonatal no serviço de saúde na Bolívia. Por outro lado, é necessário prosseguir com o desenvolvimento da tecnologia para garantir sua atualidade e sustentabilidade. Desse modo, evita-se que ela ocupe o vale da morte devido à sua obsolescência e à falta de adesão. O resultado da avaliação aponta para a necessidade de prosseguir para a fase de comissionamento, com testagem em ambientes próximos ao real, bem como seu potencial de uso em larga escala (aqui denominado de comercialização).



Figura 4. (a, b, c, d, e). Seleção de telas do PediatriaApp® e resultado da avaliação da maturidade (TRL 7) alcançada após sete anos de implementação. Bolívia, 2019-2026.
Nota: a imagem "e" que compõe a Figura 4 foi elaborada com recurso de inteligência artificial do ChatGPT®, baseada no comando — elabore uma imagem do nível de maturidade tecnológica alcançado pelo PediatriaApp®, considerando a descrição dos níveis de TRL adotados pela FINEP (10).

O aplicativo atingiu o nível de maturidade tecnológica sete (Figura 4.e) e, para alcançar os níveis oito e nove da escala, é essencial avaliar a atualização dos conteúdos após sete anos de implementação. Essa exigência destaca a importância de desenvolver pesquisas futuras que contribuam para garantir a sustentabilidade e a atualidade.

No nível TRL 7, evidencia-se que o PediatriaApp® avançou de um protótipo a uma tecnologia aplicável em ambiente real, embora ainda demande avaliação de impacto para comprovar seu desempenho. Nos níveis TRL 8 e 9, o sistema atinge um grau de maturidade mais elevado, encontrando-se completo e qualificado para implementação em outros cenários, com potencial de uso em larga escala e aplicação bem-sucedida em ambiente operacional.

A ESCALA TRL NA ENFERMAGEM – DA CONCEITUAÇÃO À APLICABILIDADE PRÁTICA

As duas experiências analisadas evidenciam que a aplicação da escala de maturidade tecnológica constitui um recurso relevante para sistematizar o desenvolvimento de produtos voltados ao cuidado em enfermagem. Ao ser empregada tanto em uma tecnologia assistencial, representada pelo PediatriaApp®, quanto em uma

tecnologia educacional, representada pelo NefroHero®, a TRL possibilitou organizar analiticamente as etapas de concepção, desenvolvimento, testagem, validação e projeção de uso em contexto real. Nesse sentido, a Figura 5 sintetiza a aplicabilidade da escala TRL na enfermagem com base nas duas experiências relatadas, evidenciando sua contribuição para o acompanhamento da evolução tecnológica e o direcionamento das etapas subsequentes de inovação.

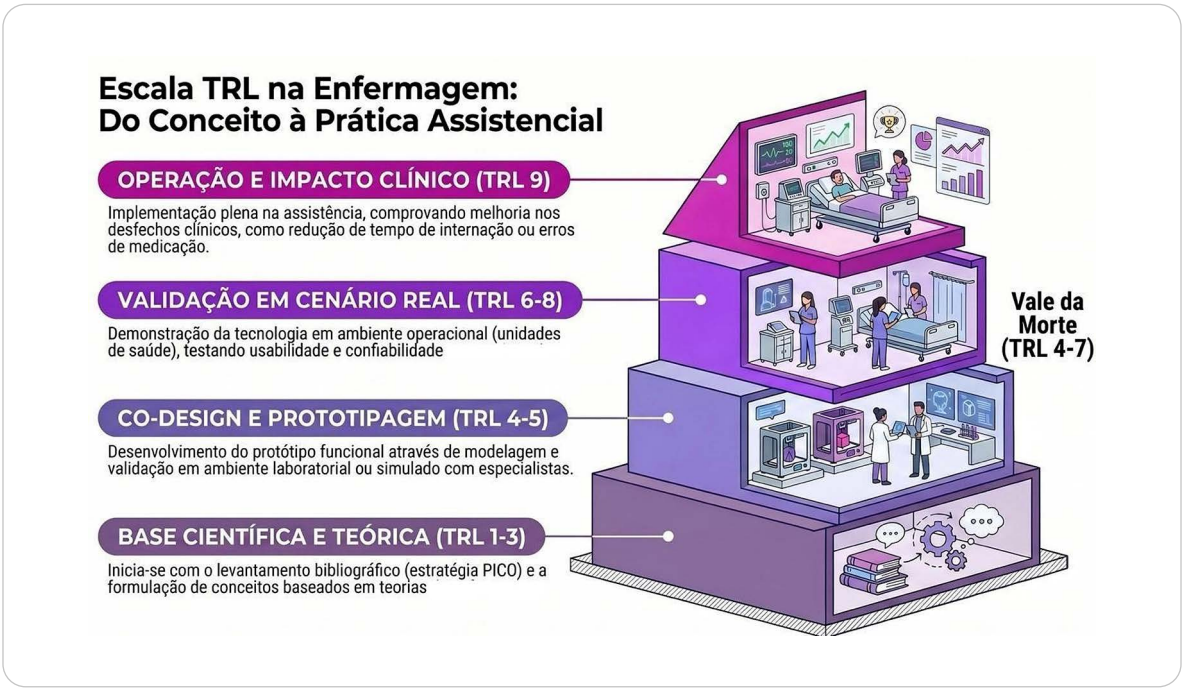


Figura 5. Síntese da aplicação da escala TRL na enfermagem, com base nas duas experiências relatadas, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.
Fonte: Autoras, 2026
Nota: a Figura 5 foi elaborada utilizando recursos de inteligência artificial do NotebookLM® mediante o comando: — elabore uma imagem que sintetize a aplicação da escala TRL na enfermagem, fundamentando-se nas experiências relatadas pelo RPG Nefro Hero® e pelo PediatriaApp®.

As duas experiências convergem para as etapas de base científica e teórica, prototipagem, validação em ambiente real e operabilidade/impacto clínico, embora o façam com finalidades e percursos distintos.

Na etapa de base científica e teórica, tanto o NefroHero® quanto o PediatriaApp® foram desenvolvidos a partir de problemas concretos do cuidado e sustentados por evidências científicas: o primeiro, voltado à adesão de adolescentes à hemodiálise; o segundo, ao apoio à administração de medicamentos em unidade neonatal. Em ambos, a fundamentação inicial orientou a definição do conteúdo, da finalidade e da estrutura da tecnologia.

No que se refere à prototipagem, as duas experiências avançaram da concepção para a formulação de modelos funcionais. No NefroHero®, isso ocorreu por meio do desenho dos elementos do jogo, da construção de narrativas e da elaboração de um protótipo minimamente viável, posteriormente refinado com base em avaliações sucessivas. No PediatriaApp®, a prototipagem envolveu a organização do conteúdo por grupos de medicamentos, a elaboração de esboços manuscritos das telas, a definição da arquitetura do aplicativo e a construção da primeira versão funcional para o sistema Android.

Quanto à validação em ambiente real ou relevante, observa-se que ambas as tecnologias avançaram para contextos mais próximos da prática, embora com diferenças importantes. O NefroHero® foi submetido a avaliações por especialistas, pais, profissionais e adolescentes, o que permitiu testar a ludicidade, o conteúdo, a aparência e a aplicabilidade em contexto relevante, alcançando o TRL 7. Já o PediatriaApp® passou por

validação com especialistas e, posteriormente, foi incorporado ao uso cotidiano da equipe de enfermagem em uma UTIN, também classificado no TRL 7, com uso contínuo em ambiente real desde 2019.

Por fim, em relação à operabilidade e ao impacto clínico, ambas as experiências demonstram potencial, mas ainda demandam aprofundamento analítico. O NefroHero® mostrou-se operável como tecnologia educacional de cuidado, com potencial para favorecer a adesão, o engajamento e a mediação do processo terapêutico de adolescentes em hemodiálise. O PediatriaApp®, por sua vez, evidenciou operabilidade assistencial ao apoiar o preparo e a administração de medicamentos, com potencial para qualificar a prática de enfermagem e aumentar a segurança do paciente. Entretanto, em ambos os casos, a consolidação do impacto clínico requer estudos adicionais em contexto real, capazes de demonstrar a efetividade, a sustentabilidade e a possibilidade de ampliação do uso.

DISCUSSÃO

O IN(COMUM) DAS DUAS EXPERIÊNCIAS DE PRODUÇÃO DE TECNOLOGIAS DE CUIDADO: JOGO NEFROHERO® E PEDIATRIAAPP®

A incorporação da escala TRL permitiu analisar, de forma mais estruturada, as etapas já desenvolvidas pela tecnologia, desde sua concepção teórica, contribuindo para o direcionamento da pesquisa rumo ao aprimoramento do produto, com maior maturidade tecnológica e potencial de incorporação em contextos práticos e assistenciais [17].

O desenvolvimento do *Role-Playing Game* (RPG) denominado Nefro Hero® teve origem em uma problemática identificada na trajetória profissional da segunda autora, como enfermeira pediatra, no cuidado de adolescentes submetidos à hemodiálise, cujo processo terapêutico se caracterizava por elevada complexidade, envolvendo restrições alimentares, alterações na rotina, sofrimento emocional, mudanças corporais e dificuldades de adesão ao tratamento. A partir desse contexto, formulou-se o eixo norteador do Nefro Hero® como um tipo *de Role-Playing Game* (RPG), fundamentado na perspectiva do cuidado centrado na pessoa, buscando integrar elementos lúdicos, narrativos e educativos como estratégia de aproximação entre o adolescente e o processo terapêutico [11]. O público infantojuvenil com condições renais crônicas vivencia o frequente afastamento do ambiente escolar e o estigma social, que comprometem a saúde mental e a adesão a esquemas terapêuticos prolongados. O sofrimento emocional, o isolamento social, a exclusão escolar, a fragilidade da rede de apoio e a necessidade de reorganização da rotina cotidiana configuram-se como determinantes de vulnerabilidade à adesão ao tratamento. Diante desse quadro, os jogos sérios deixam de ser um "mero entretenimento" para se tornarem uma "tecnologia educacional e de cuidado em saúde", atuando como mediadores pedagógicos e terapêuticos, amplamente respaldados pela área de enfermagem [18]. Esses jogos permitem que o paciente simule tomadas de decisão, expresse emoções e compreenda a própria condição sem o peso da sobrecarga do tratamento hemodialítico[11].

Nesse cenário, a experiência dessa construção revelou que as tecnologias em formato de jogos extrapolam o mero entretenimento, constituindo-se em ferramentas mediadoras do cuidado em saúde, capazes de estimular a autonomia, facilitar o acolhimento e ressignificar o aprendizado sobre o próprio tratamento.

Em relação ao aplicativo PediatriaApp®, pesquisas recentes indicam que os aplicativos móveis em saúde, denominados *mHealth*, têm contribuído, no contexto da prática clínica de enfermagem, para a redução de erros na administração de medicamentos, o aumento da eficiência da equipe e o fortalecimento da tomada de decisão baseada em evidências científicas. Entre os principais benefícios dessa inovação tecnológica, destacam-se a ampliação do acesso a informações clínicas e farmacológicas atualizadas, a diminuição de falhas no cálculo e na administração de medicamentos, o fortalecimento da comunicação interdisciplinar, a promoção da educação permanente dos profissionais de saúde e o incremento da participação do paciente em seu próprio cuidado[19-20].

Corroborando esse cenário, uma revisão da literatura identificou 192 referências, das quais 22 relataram erros de prescrição de medicamentos, com frequências variando de 1% a 58%. Esses erros foram observados em diferentes etapas do processo medicamentoso: nove estudos descreveram falhas exclusivamente na prescrição, sobretudo relacionadas a doses incorretas; três abordaram erros simultaneamente na prescrição e na administração; dois focalizaram apenas a administração; e um contemplou diferentes processos[21].

Diante desses desafios, as tecnologias em saúde configuram-se como ferramentas estratégicas para elevar a qualidade e a segurança da atenção. Nessa perspectiva, a saúde digital tem sido reconhecida como uma alternativa eficaz para reduzir a sobrecarga da equipe e favorecer práticas organizacionais em áreas críticas do cuidado. Em consonância com esse movimento, a Organização Mundial da Saúde vem promovendo a Estratégia Global de Saúde Digital 2020-2027, voltada à análise de tendências e oportunidades relacionadas ao uso das tecnologias da informação e comunicação no setor da saúde, incluindo as ferramentas de saúde móvel ou mHealth[22-23].

Há elementos comuns e incomuns entre as duas experiências de produção tecnológica. Em comum, tanto o NefroHero® quanto o PediatriaApp® foram desenvolvidos no campo da enfermagem a partir de necessidades concretas do cuidado, com base em evidências científicas e em trajetórias acadêmicas iniciadas no mestrado e aprofundadas no doutorado.

Em ambas as experiências, a escala Technology Readiness Level (TRL), ou nível de prontidão/maturidade da tecnologia, e a calculadora Avalcheck foram empregadas como recursos para identificar o estágio de maturidade tecnológica alcançado, orientar o refinamento dos produtos e subsidiar decisões quanto à continuidade do processo de inovação. As duas experiências também evidenciam que o desenvolvimento de tecnologias em enfermagem exige um processo progressivo de criação, testagem, avaliação por especialistas e articulação entre o conhecimento científico, a aplicabilidade clínica e o potencial de incorporação ao cuidado.

Já quanto aos aspectos incomuns, constata-se que as tecnologias diferem quanto à finalidade, ao público-alvo, ao contexto de uso e ao estágio de consolidação. O NefroHero® caracteriza-se como uma tecnologia educacional e lúdica voltada à promoção da adesão de adolescentes ao tratamento hemodialítico, envolvendo, em sua trajetória de avaliação, especialistas, pais, profissionais e os próprios adolescentes.

Enquanto o PediatriaApp® constitui uma tecnologia assistencial voltada ao apoio à administração de medicamentos em recém-nascidos em unidade de terapia intensiva neonatal, direcionada principalmente à equipe de enfermagem. Além disso, enquanto o NefroHero® avançou por etapas sucessivas de validação e demonstração em ambiente relevante até alcançar o TRL 7 no doutorado, o PediatriaApp®, embora também situado no TRL 7, já apresenta uso contínuo em contexto real desde 2019, o que desloca o foco atual de sua inovação para a atualização do conteúdo, a avaliação de impacto e a sustentabilidade da tecnologia.

Um dos principais obstáculos à sustentabilidade de uma tecnologia inovadora é conhecido como o vale da morte. Essa fase crítica de alto risco ocorre entre o desenvolvimento inicial de uma inovação e sua aplicabilidade em larga escala, caracterizada pela escassez de recursos e pelo risco de abandono do projeto. Isso pode ocorrer em razão da falta de financiamento, que geralmente ocorre entre os níveis TRL 4 e 6, sendo necessário adotar estratégias como parcerias, editais governamentais e validação junto às partes interessadas para assegurar a viabilidade e a continuidade[24-25].

Em termos analíticos, é preciso manter vigilância epistemológica para evitar o "vale da morte" de ambas as tecnologias. Isto significa passar da geração do produto à sustentação e depende de cinco movimentos articulados: atualizar, validar em uso no mundo real, institucionalizar, integrar ao cuidado e planejar escala com sustentabilidade. O Quadro 1 apresenta ações estratégicas para evitar o vale da morte.

Por seu caráter descritivo e reflexivo, um relato de experiência não permite generalizações amplas nem inferências causais sobre a aplicabilidade da escala TRL a todas as tecnologias desenvolvidas na enfermagem. Além disso, a análise concentrou-se em duas experiências específicas, distintas quanto à finalidade, ao público-alvo, ao contexto de uso e ao grau de consolidação, o que limita comparações diretas e a extrapolação dos achados.

Soma-se a isso o fato de que parte da avaliação foi construída com base na reconstituição retrospectiva das trajetórias tecnológicas, o que pode gerar assimetrias na disponibilidade de evidências entre os casos. Embora a TRL tenha se mostrado útil como recurso analítico, sua adaptação ao campo da enfermagem ainda apresenta limitações para captar, em toda a sua complexidade, dimensões como usabilidade, aceitabilidade, incorporação ao cuidado, sustentabilidade e impacto clínico em contextos reais. Por fim, a existência de diferentes estágios de desenvolvimento entre as duas tecnologias analisadas também constitui um limite à equivalência analítica das experiências.

Quadro 1. Ações estratégicas para evitar o "vale da morte" da inovação nas tecnologias de cuidado NefroHero® e PediatriaApp®, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.

Eixo analítico	Síntese das ações necessárias para evitar o vale da morte da inovação
Diretriz geral	Transformar uso pontual ou validação acadêmica em incorporação sustentável, com produção de evidências, governança institucional e estratégia de disseminação.
Atualização contínua	Elaborar um plano formal de atualização. No *PediatriaApp®*, essa medida é especialmente crítica em razão da necessidade de revisão periódica de conteúdos sobre medicamentos, diluições, compatibilidades e práticas assistenciais. No *NefroHero®*, a atualização deve abranger conteúdo educativo, linguagem, mecânicas de engajamento e adequação ao contexto dos adolescentes em hemodiálise. Sem revisão contínua, ambas tendem à perda de relevância e à descontinuidade.
Evidências de impacto	Demonstrar resultados concretos em cenário real de uso. No *NefroHero®*, isso pode incluir adesão ao tratamento, compreensão do cuidado, engajamento e experiência do adolescente. No *PediatriaApp®*, podem ser avaliados segurança medicamentosa, redução de erros, padronização de condutas e apoio à tomada de decisão da equipe. A produção dessas evidências sustenta o avanço a níveis mais elevados de maturidade tecnológica e favorece sua adoção institucional.
Governança institucional	Deixar de depender exclusivamente das pesquisadoras e passar a contar com estrutura institucional de sustentação, com definição de responsáveis pela manutenção, fluxo de revisão técnica, critérios de atualização, monitoramento de uso e decisões sobre continuidade, expansão ou reformulação.
Integração ao cuidado	A sustentabilidade das tecnologias depende de sua integração ao fluxo real de cuidado. O *PediatriaApp®* deve estar articulado aos processos de preparo e administração de medicamentos, à capacitação da equipe e aos protocolos da unidade. O *NefroHero®* precisa ser incorporado às práticas educativas e ao acompanhamento clínico de adolescentes em hemodiálise, e não apenas utilizado de forma eventual.
Usabilidade e adesão	Investir continuamente em usabilidade, aceitabilidade e adesão dos usuários, por meio da escuta sistemática dos públicos-alvo, da revisão de barreiras de uso, do aperfeiçoamento da interface e da incorporação de sugestões. No *NefroHero®*, isso exige atenção especial à experiência do adolescente; no *PediatriaApp®*, atenção especial à praticidade de uso pela equipe de enfermagem em ambiente assistencial.
Escalabilidade	As duas tecnologias precisam de estratégia de expansão para outros cenários, com definição de condições de replicação, identificação de adaptações necessárias, estabelecimento de requisitos mínimos de adoção e padronização de materiais de apoio, treinamento e avaliação. Sem esse planejamento, a inovação tende a permanecer restrita ao contexto de origem.
Sustentabilidade	A continuidade das tecnologias requer sustentabilidade técnica, científica e financeira. Isso envolve manutenção, compatibilidade, correções e atualização; revisão de conteúdo à luz de novas evidências; e garantia de recursos para continuidade, equipe, revalidação e disseminação.
Prioridades específicas	Para o *NefroHero®*, destacam-se como prioridades a testagem em contextos reais de cuidado, a avaliação do impacto sobre adesão e engajamento, a consolidação do uso com profissionais e adolescentes e a estruturação de uma estratégia de implementação como tecnologia educacional incorporada ao cuidado. Para o *PediatriaApp®*, as prioridades concentram-se na revisão e atualização imediata do conteúdo técnico, na reavaliação da usabilidade e da segurança após anos de uso, na mensuração do impacto assistencial e na formalização de um processo institucional de manutenção e expansão.

Fonte: Autores, 2025

CONCLUSÕES

Conclui-se que a aplicação da escala TRL adaptada às experiências do NefroHero® e do PediatriaApp® permitiu, simultaneamente, descrever de modo sistematizado a maturidade tecnológica de duas tecnologias de enfermagem desenvolvidas no Brasil e na Bolívia e demonstrar sua utilidade como recurso orientador para a continuidade do desenvolvimento tecnológico no âmbito da formação doutoral.

Mais do que classificar estágios de prontidão, a escala favoreceu a identificação de lacunas, a definição de prioridades investigativas e o planejamento de etapas subsequentes de validação, implementação e sustentabilidade. As experiências reforçam a ideia de que a enfermagem desenvolve tecnologias inovadoras que integram o conhecimento científico, as necessidades de cuidado e o potencial de transformação na prática. Nesse cenário, a TRL revelou-se um instrumento valioso para evidenciar o percurso de desenvolvimento dessas tecnologias, aprimorar sua análise e promover maior participação da enfermagem nas discussões sobre inovação, avaliação tecnológica e sustentabilidade de produtos de saúde.

A análise comparativa das duas trajetórias evidenciou, ainda, que a maturidade tecnológica na enfermagem não deve ser compreendida como uma progressão linear entre níveis, mas como um processo dinâmico, condicionado pela natureza da tecnologia, pelo contexto de uso, pelos atores envolvidos e pelas exigências de validação, implementação e sustentabilidade. Embora ambas tenham se originado de necessidades concretas da prática e de trajetórias acadêmicas iniciadas no mestrado e aprofundadas no doutorado, diferenciam-se quanto à finalidade, ao público-alvo, ao contexto de uso e ao estágio de consolidação.

Assim, a experiência relatada reforça a pertinência da TRL como ferramenta de apoio à inovação em enfermagem, ao mesmo tempo em que evidencia a necessidade de reinterpretar seus níveis à luz das especificidades éticas, assistenciais, educativas e sociotécnicas do campo da enfermagem. Nesse sentido, a TRL mostrou-se útil para orientar o refinamento das tecnologias, apoiar decisões sobre continuidade, validação e incorporação no campo da enfermagem e ampliar a discussão crítica sobre seus alcances, limites e possibilidades de adaptação ao campo da saúde.

DECLARAÇÃO DE USO DE INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL

Declaro que utilizamos a ferramenta Copilot® da Microsoft 365 para a correção gramatical e o aprimoramento da redação científica, e o uso do NotebookLM® e ChatGPT® na geração das imagens das figuras. Destacamos que todo o conteúdo é de propriedade intelectual das autoras.

REFERÊNCIAS

1. World Health Organization. Medical devices: managing the mismatch: an outcome of the Priority Medical Devices Project [Internet]. Geneva: World Health Organization; 2010 [citado 8 out 2025]. Disponível em: https://www.who.int/publications/i/item/9789241564045

2. World Health Organization. Global report on assistive technology [Internet]. Geneva: World Health Organization; 2023. [citado 8 out 2025]. Disponível em: https://www.who.int/publications/i/item/9789240069602

3. Farias QLT, et al. Tecnologias em saúde e o cuidado de enfermagem: reflexões para a prática e a pesquisa. Rev Bras Enferm. 2023;76(3):e20220345. doi:10.1590/0034-7167-2022-0345.

4. Ross J, Savel RH. Artificial intelligence and digital transformation in critical care: implications for nursing practice. Crit Care Med. 2022;50(7):1042-9. doi:10.1097/CCM.0000000000005551.

5. Salvador-Carulla L, Woods C, De Miquel C, Lukersmith S. Adaptation of the technology readiness levels for impact assessment in implementation sciences: the TRL-IS checklist. Heliyon. 2024;10(9):e29930. doi: 10.1016/j.heliyon.2024.e29930.

6. Mankins JC. Technology readiness levels: a white paper. Washington (DC): National Aeronautics and Space Administration; 1995.

7. National Aeronautics and Space Administration. Technology Readiness Levels Demystified [Internet]. Washington (DC): NASA; 2023 [citado10 nov em 2025]. Disponível em: https://www.nasa.gov/aeronautics/technology-readiness-levels-demystified/

8. Santos P, Schmitt R, Lanza G. Assessing readiness of manufacturing technologies: a review of TRL adaptations. Procedia CIRP. 2022;104:1725-32. doi:10.1016/j.procir.2022.02.284.

9. Biomedical Advanced Research and Development Authority. Technology Readiness Levels for Medical Countermeasure Products (Diagnostics and Medical Devices) [Internet]. Washington (DC): U.S. Department of Health & Human Services; 2023 [citado 10 nov 2025]. Disponível em: https://www.medicalcountermeasures.gov/trl/trls-for-medical-devices/

10. Financiadora de Estudos e Projetos, Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação. Inovações Radicais Setor Elétrico: Anexo 7 – Definição de Nível de Maturidade Tecnológica [Internet]. 2022. [citado 10 abr 2025]. Disponível em: https://legacy.finep.gov.br/images/chamadas-publicas/2022/15_07_2022_EL_Anexo_7-Definicao_do_Nivel_de_Maturidade_Tecnologica.pdf

11. Costa FNA. Qualidade de vida relacionada à saúde de crianças e adolescentes em HD: produção e testagem de uma estratégia gamificada [dissertação]. Belém: Universidade do Estado do Pará; 2019.

12. Lliulli MM. Aplicación en teléfonos inteligentes, glda Guía de dadministración e medicamentos Más frecuentes, Unidad de Terapia Intensiva, Hospital del Niño Dr. Ovidio Aliaga Uria, La Paz, Bolivia, 2018**.** [tese]. La Paz: Universidad Mayor de San Andrés; 2019.

13. Mussi RFF, Flores FF, Almeida CB. Pressupostos para a elaboração de relato de experiência como conhecimento científico. Práxis Educativa. 2021;17(48):60-77. doi:10.22481/praxisedu.v17i48.9010.

14. Avalcheck Google Play Store [Internet]. 2024 [citado 11 jul 2025]. Disponível em: https://play.google.com/store/apps/details?id=com.cinttec.avalchek&hl=es_BO .

15. Taketomo CK, Hodding JH, Kraus DM. Manual de prescripción pediátrica. 18th ed. Hudson: Lexicomp; 2011.

16. AGREE Next Steps Consortium. AGREE II: GuíaSalud: instrumento para la evaluación de guías de práctica clínica [Internet]. 2009 May [citado 18 maio 2026]. Disponível em: https://www.agreetrust.org/wp-content/uploads/2013/06/AGREE_II_Spanish.pdf

17. Ferreira Dias EC, Barroso W, Amaral AC. Mensuração do nível de maturidade tecnológica em projetos colaborativos: desafios e oportunidades para a gestão do conhecimento. Rev Gest Conhec Tecnol Inf. 2025;9(Ed Esp):27-40. doi: 10.31501/rgcti.v9i1.15399.

18. Sarasmita MA, Lee YH, Chan FY, Chen HY. Digital Serious Games to Promote Behavior Change in Children With Chronic Diseases: Scoping Review and Development of a Self-Management Learning Framework. J Med Internet Res. 2024 Aug 19;26:e49692. doi: 10.2196/49692.

19. Nezamdoust S, Abdekhoda M, Ranjbaran F, Azami-Aghdash S. Adopting mobile health applications by nurses: a scoping review. J Nurs Manag. 2022;27:480-91. doi:10.1177/17449871221077080.

20. Muñoz-Ñañez D, Gomez-Sayas J, Andrade-Díaz KV. Salud móvil (mHealth) en profundidad: un estudio bibliométrico. Rev Espacios. 2025;46(3):130-52. doi:10.48082/espacios-a25v46n03p11.

21. Quintero AFV, Amarile P, Henao ANR, Granados J. Errores de medicación en pediatría. Andes Pediatr. 2021;92(2):288-97. doi:10.32641/andespediatr.v92i2.1357.

22. Ventura CAA, Trevisan DD. Digital health and nursing: transformation, competencies, and challenges. Int Nurs Rev. 2024;71(2):123-31. doi:10.1111/inr.13129.

23. World Health Organization. Global strategy on digital health 2020–2027 [Internet]. Geneva: World Health Organization; 2025 [citado 27 mar em 2026]. Disponível em: https://www.who.int/publications/i/item/9789240116870 .

24. Bergamini RL. Avaliação do nível de maturidade de tecnologia (TRL) nas Instituições de Ciência e Tecnologia (ICTs) com o modelo adaptado da AFRL – Air Force Research Laboratory. Rev Adm Roraima. 2020;10(1). doi:10.18227/2237-8057rarr. v10i0.5738.