

SIVEIN: Um Sistema de Informação Vacinal para Apoio à Saúde Indígena no Norte do Tocantins

Gabriel Al-Samir G. Sales¹, Francisco Victor da S. Pinheiro^{1,2}
Emanuel F. Coutinho¹, Rossana M. C. Andrade²

¹Universidade Federal do Ceará (UFC) – Campus Quixadá – Quixadá – CE

²Programa de Mestrado e Doutorado em Ciência da Computação (MDCC)
Universidade Federal do Ceará (UFC) – Fortaleza – CE

`gabriel.alsamir@alu.ufc.br`

`{victorpinheiro, emanuel.coutinho, rossana}@ufc.br`

Resumo. *A vacinação é fundamental para a prevenção de doenças imunopreveníveis, especialmente em populações vulneráveis. Este trabalho apresenta o SIVEIN, um sistema web para automatizar a análise de dados vacinais do SI-PNI no Polo Base Indígena de Tocantinópolis-TO, substituindo processos manuais. A solução gera indicadores de cobertura e calcula automaticamente o aprazamento de doses infantis, tendo sido validada com profissionais de saúde pelo modelo TAM, com resultados que indicam alta utilidade, facilidade de uso e potencial de adoção para o fortalecimento da vigilância vacinal.*

Abstract. *Vaccination is fundamental for the prevention of vaccine-preventable diseases, especially in vulnerable populations. This work presents SIVEIN, a web-based system to automate the analysis of vaccination data from the National Immunization Program (SI-PNI) at the Indigenous Base Center in Tocantinópolis-TO, replacing manual processes. The solution generates coverage indicators and automatically calculates the scheduling of childhood doses, having been validated with health professionals using the TAM model, with results indicating high utility, ease of use, and potential for adoption to strengthen vaccination surveillance.*

1. Introdução

A vacinação representa um dos pilares da saúde pública em escala global, desempenhando papel decisivo no controle e, em muitos casos, na erradicação de doenças infecciosas. Sua importância ultrapassa a prevenção individual, uma vez que contribui significativamente para a redução das iniquidades em saúde e para a promoção do bem-estar social [Ashwini et al. 2024]. No contexto indígena brasileiro, a saúde dessa população apresenta particularidades históricas que as colocam em situação de vulnerabilidade e desigualdade em relação à saúde da população geral.

Cobertura vacinal é a proporção da população-alvo que recebeu as doses recomendadas de uma vacina, sendo um indicador essencial para monitorar e aprimorar programas de vacinação em diferentes níveis [OMS 2018]. Já o aprazamento refere-se à aplicação das vacinas nas idades e intervalos corretos, especialmente crucial em crianças até 1 ano. O calendário da Sociedade Brasileira de Imunizações (SBIIm) orienta o processo vacinal

no país, garantindo proteção eficaz nos primeiros meses de vida, quando os bebês são mais vulneráveis a infecções graves [Miranda-Soberón et al. 2025].

No Brasil, o Programa Nacional de Imunizações (PNI), estabelecido em 1973, desempenha um papel essencial na melhoria das condições de saúde pública e sociais do país, alcançando importantes avanços no controle de doenças, se tornando um exemplo internacional [Domingues et al. 2015]. Por trás desses resultados está o uso e implementação cada vez mais abrangente de Sistemas Informatizados de Imunização (SII), instrumentos para avaliação e monitoramento dos programas de imunização em nível micro e macro nacional. Tais sistemas promovem a justa distribuição do acesso aos imunobiológicos e a identificação eficaz das áreas de baixa cobertura vacinal [Danovaro-Holliday et al. 2014].

A informatização dos dados de vacinação no Brasil teve início em 1994 com o Sistema de Informação de Avaliação do Programa de Imunização (SI-API). Esse sistema registrava dados agregados das doses aplicadas por local de vacinação e grupo-alvo. No entanto, apresentava limitações significativas, como a impossibilidade de identificar individualmente os vacinados e seu local de residência, o que comprometia a análise precisa da cobertura vacinal e a identificação de áreas com baixa imunização [Brasil 2019].

Para superar essas deficiências, foi desenvolvido o Sistema de Informação do Programa Nacional de Imunizações (SI-PNI), que passou a ser recomendado para uso pelos municípios e iniciou sua implantação nacional em 2010. O SI-PNI introduziu o registro nominal das vacinações, permitindo a identificação individual dos vacinados, o acompanhamento da situação vacinal de cada cidadão e a programação de futuras doses conforme o Calendário Nacional de Vacinação [Brasil 2019].

Apesar da relevância do SI-PNI, no contexto dos Polos Base de Saúde Indígena (PBI) seu uso restringe-se ao registro nacional dos dados de vacinação, sem disponibilizar de forma acessível relatórios, gráficos ou análises que apoiem a tomada de decisão local. No PBI de Tocantinópolis-TO, essa limitação faz com que o registro, a análise da cobertura vacinal e o aprazamento das vacinas sejam realizados manualmente, por meio da conferência de carteiras de vacinação, cálculos de datas e anotações em apostilas. Esse processo é moroso, suscetível a erros humanos e impõe desafios logísticos, como o risco de falta de doses durante as visitas às aldeias, dificultando a identificação de padrões, a vacinação oportuna e a efetividade do programa, especialmente em áreas de difícil acesso.

Diante das limitações dos processos manuais, este trabalho desenvolve e apresenta o SIVEIN - Sistema de Informação Vacinal em Terras Indígenas, um sistema web projetado para automatizar o tratamento de dados do SI-PNI no PBI de Tocantinópolis-TO. A ferramenta se destaca por oferecer painéis visuais de monitoramento e um sistema de alertas para o controle de prazos vacinais em crianças de até 1 ano das aldeias Apinajé.

2. Trabalhos Relacionados

O trabalho de [Scharf et al. 2021] analisa de forma abrangente o estado atual dos Sistemas de Informação em Imunização (SIIs) nos Estados Unidos, destacando desafios estruturais, técnicos e legais que comprometem o uso efetivo dos dados vacinais. A partir de uma análise institucional baseada em relatórios do *Centers for Disease Control and Prevention* (CDC), como o IISAR e o *Data Quality Blueprint*, o estudo evidencia problemas

recorrentes de fragmentação de dados, ausência de interoperabilidade entre jurisdições e limitações na governança da informação. Os autores ressaltam ainda a dependência de infraestruturas legadas, a inexistência de índices mestres de pacientes e as barreiras impostas por legislações como HIPAA e FERPA, ao mesmo tempo em que apontam iniciativas como o *Immization Gateway* e a adoção de padrões HL7 como caminhos promissores para a modernização e integração dos SIIs.

O estudo de [Rahmadhan and Handayani 2023] propõe o desenvolvimento de um protótipo de SII voltado ao contexto da Indonésia, onde os registros vacinais são historicamente fragmentados e majoritariamente baseados em papel. Utilizando a abordagem de *Design Science Research*, os autores conduzem iterações sucessivas de levantamento de requisitos, prototipação e avaliação, envolvendo profissionais de saúde e usuários finais. O sistema resultante apresenta funcionalidades abrangentes, como histórico vacinal, agendamento, lembretes, monitoramento de cobertura e integração com outros sistemas de saúde por meio do padrão FHIR. A avaliação do protótipo, baseada nas escalas SUS e PSSUQ, indica boa aceitação, usabilidade satisfatória e percepção positiva quanto à qualidade da informação, reforçando o potencial da informatização como estratégia para o fortalecimento da vigilância vacinal em países em desenvolvimento.

O trabalho de [Brooks et al. 2024], conduzido pela Organização Mundial da Saúde, apresenta um panorama global sobre a adoção e adaptação de Sistemas de Informação em Imunização por 188 países durante a pandemia de COVID-19. A partir da análise de dados coletados por meio do formulário conjunto OMS/UNICEF, o estudo identifica que a maioria dos países implementou ou adaptou SIIs para contemplar funcionalidades essenciais, como relatórios agregados, registros individuais, agendamento e vigilância de eventos adversos. Os resultados evidenciam diferenças significativas entre países de alta e baixa renda quanto às estratégias adotadas, bem como desafios persistentes relacionados à qualidade dos dados, atrasos no registro das informações e limitações de infraestrutura digital, especialmente em regiões socialmente vulneráveis.

Em comparação com os trabalhos analisados, o presente estudo distingue-se por articular diagnóstico, implementação e validação prática em um contexto específico de alta vulnerabilidade social. Enquanto os estudos internacionais concentram-se predominantemente em análises institucionais, diagnósticos globais ou propostas de protótipos em nível nacional, este trabalho propõe e valida uma ferramenta web integrada ao Sistema de Informação do Programa Nacional de Imunizações (SI-PNI), voltada à automatização da coleta, do tratamento e da visualização dos dados vacinais em polos de saúde indígena. Além disso, o sistema desenvolvido incorpora um mecanismo automatizado de aprazamento vacinal e foi avaliado em uso real por profissionais de saúde, preenchendo lacunas identificadas na literatura e contribuindo de forma aplicada para a promoção da equidade, da eficiência e da tomada de decisão em saúde pública. A Tabela 1 apresenta o comparativo entre os trabalhos relacionados e o trabalho proposto.

Tabela 1. Comparativo entre os trabalhos relacionados e o trabalho proposto.

Trabalhos	Solução prática	Funcionalidades e limitações dos SIIs	Aprazamento vacinal	População vulnerável	Validação prática
Trabalho Proposto	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim
[Scharf et al. 2021]	Não	Sim	Não	Não	Não
[Rahmadhan and Handayani 2023]	Sim	Sim	Não	Sim	Não
[Brooks et al. 2024]	Não	Sim	Não	Não	Não

3. Metodologia

O fluxo metodológico ilustrado na Figura 1 sintetiza as principais etapas adotadas no desenvolvimento do trabalho, iniciando pelo levantamento de requisitos junto aos profissionais do Polo Base de Saúde Indígena de Tocantinópolis-TO, seguido pela coleta, análise e processamento dos dados vacinais extraídos de sistemas oficiais.

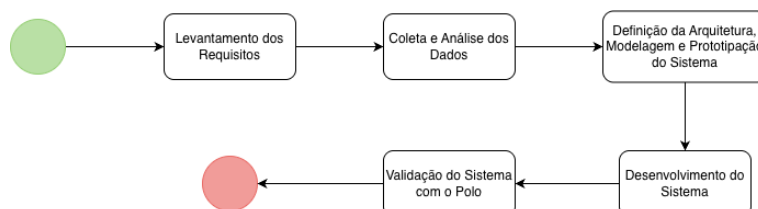


Figura 1. Procedimentos para a execução do trabalho.

A metodologia adotada neste trabalho caracteriza-se como aplicada e exploratória, com abordagem predominantemente qualitativa na fase de levantamento de requisitos e quantitativa na etapa de validação. Inicialmente, realizou-se o levantamento dos requisitos por meio de contato direto com profissionais do PBI de Tocantinópolis-TO, incluindo visitas técnicas e entrevistas informais, com o objetivo de compreender o fluxo atual de trabalho, as dificuldades enfrentadas na gestão dos dados vacinais e as necessidades dos usuários finais. Em seguida, procedeu-se à coleta e análise dos dados de vacinação, obtidos a partir de exportações de planilhas do SI-PNI, possibilitando a compreensão da estrutura, volume e complexidade dos registros, bem como a definição das estratégias de processamento e modelagem dos dados.

Com base nos requisitos identificados, foi definida a arquitetura do sistema segundo o modelo cliente-servidor, contemplando uma camada de *back-end* responsável pela ingestão, anonimização, processamento e persistência dos dados, e uma camada de *front-end* dedicada à visualização analítica das informações. O desenvolvimento do sistema utilizou tecnologias consolidadas, incluindo FastAPI e Python no *back-end*, ReactJS e TypeScript no *front-end*, além de bibliotecas especializadas para processamento eficiente de grandes volumes de dados e visualização interativa. A modelagem e a prototipação do sistema foram realizadas previamente, com validação dos protótipos de alta fidelidade junto aos profissionais do polo, assegurando alinhamento entre a solução proposta e os fluxos reais de trabalho.

A validação do sistema foi conduzida por meio do Modelo de Aceitação de Tecnologia (*Technology Acceptance Model – TAM*), com o objetivo de avaliar a percepção dos usuários quanto à utilidade, facilidade de uso e intenção de adoção do sistema. Para isso, foi aplicado um questionário estruturado em escala Likert a profissionais de saúde do PBI de Tocantinópolis-TO, após um período de uso orientado da ferramenta. Os dados coletados permitiram analisar a aceitação prática do sistema no contexto real de aplicação, além de identificar sugestões e oportunidades de melhoria, contribuindo para a avaliação da viabilidade e efetividade da solução proposta.

4. SIVEIN: Um Sistema de Informação Vacinal

As tecnologias utilizadas no desenvolvimento do sistema foram selecionadas com foco em desempenho, segurança e escalabilidade no processamento de grandes volumes de dados

vacinais. O *back-end* foi implementado em Python, utilizando o framework FastAPI para a construção de APIs seguras, com validação automática de dados e autenticação baseada em *JSON Web Tokens (JWT)*. O processamento e a integração dos dados foram realizados com a biblioteca Polars, escolhida por seu alto desempenho em operações analíticas, suporte a execução paralela e otimizações como *lazy evaluation*, fundamentais para o tratamento eficiente de grandes arquivos CSV.

A persistência dos dados foi realizada em PostgreSQL, adotando uma modelagem dimensional em esquema estrela para otimizar consultas analíticas e garantir integridade transacional. Na camada de apresentação, a interface web foi desenvolvida com ReactJS e TypeScript, proporcionando uma experiência interativa, robusta e de fácil manutenção, enquanto a visualização dos indicadores foi viabilizada pela biblioteca Recharts. Essa combinação tecnológica, organizada sob uma arquitetura cliente-servidor, permitiu a construção de uma solução eficiente, segura e adequada ao contexto da gestão vacinal em saúde pública.

Os requisitos do sistema foram definidos a partir de levantamento *in loco* com os profissionais do PBI de Tocantinópolis-TO, resultando na especificação de requisitos funcionais e não funcionais alinhados às necessidades operacionais do contexto estudado. Do ponto de vista funcional, o sistema contempla autenticação segura com controle de perfis, ingestão e processamento automático de dados vacinais via arquivos CSV, visualização analítica da cobertura vacinal e do aprazamento de doses, aplicação de filtros, geração de alertas de atraso e exportação de relatórios. Já os requisitos não funcionais enfatizam usabilidade, disponibilidade contínua, segurança em conformidade com a LGPD e desempenho adequado, assegurando tempos de resposta reduzidos, acesso simultâneo e proteção dos dados sensíveis.

4.1. Arquitetura da Solução e Modelagem de Dados

A Figura 2 apresenta a arquitetura do sistema, evidenciando a organização dos componentes, a separação de responsabilidades entre as camadas e o fluxo de dados entre o *front-end*, o *back-end* e o banco de dados.

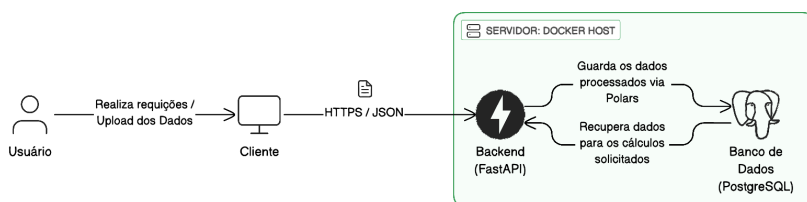


Figura 2. Diagrama de Componentes do Sistema.

A arquitetura do sistema foi concebida com base nos princípios de segurança da informação, modularidade e separação de responsabilidades, visando garantir manutenibilidade, escalabilidade e eficiência no processamento dos dados vacinais. A solução adota uma arquitetura cliente-servidor, com comunicação segura via HTTPS/JSON, organização em camadas no *back-end* e uso do padrão MVVM no *front-end*, permitindo o desacoplamento entre interface, lógica de negócio e acesso aos dados. O sistema foi projetado para atuar como uma ferramenta analítica, priorizando operações de leitura in-

tensiva e agregações complexas voltadas à geração de indicadores de cobertura vacinal e aprazamento.

Para suportar esse perfil analítico, o banco de dados utiliza modelagem dimensional em esquema estrela, com tabelas de fatos e dimensões que reduzem a complexidade das consultas e melhoram o desempenho. Adicionalmente, a arquitetura implementa um modelo de segurança híbrida, segregando os dados em zona analítica e zona clínica, com uso de técnicas de anonimização e criptografia em conformidade com a LGPD. Esse conjunto de decisões arquiteturais viabiliza o processamento eficiente dos dados, a proteção das informações sensíveis e a disponibilização confiável dos indicadores para apoio à tomada de decisão em saúde pública.

4.2. Processamento e Integração de Dados e Motor de Regras de Imunização

O sistema é alimentado por um *pipeline* de Engenharia de Dados responsável pela extração, transformação e carga (ETL) de informações provenientes do SI-PNI e do SI-ASI, desenvolvido para contornar a ausência de interoperabilidade nativa entre essas bases e o elevado volume de registros. O *pipeline* incorpora etapas de limpeza, normalização e sanitização dos dados, com padronização de nomes de aldeias e imunobiológicos e uso de dicionários de mapeamento semântico para unificar variações de nomenclatura sob nomes canônicos definidos pelo Polo Base.

Após a normalização, os dados são enriquecidos por meio do cruzamento entre registros vacinais e a base populacional utilizando o Cartão Nacional de Saúde (CNS) como chave de ligação e, por fim, carregados em um banco de dados PostgreSQL por meio de operações em lote e estratégias de UPSERT, garantindo ingestão idempotente, consistência referencial e suporte eficiente às análises de cobertura vacinal e aprazamento.

A automatização do aprazamento vacinal foi implementada por meio da adoção de um Motor de Regras (*Rule-Based Engine*), evitando uma abordagem rígida baseada em estruturas condicionais tradicionais e permitindo maior flexibilidade frente às dependências temporais do calendário da Sociedade Brasileira de Imunizações (SBIIm). As regras de imunização foram modeladas de forma declarativa em uma Base de Conhecimento, contendo informações sobre vacinas, doses, dependências e restrições temporais, e processadas por um motor de inferência que as cruza com o histórico vacinal individual. Esse mecanismo permite o cálculo determinístico da data prevista para a próxima dose e a classificação do seu status como “Próxima” ou “Atrasada”, fornecendo suporte automatizado e consistente à tomada de decisão pelas equipes de saúde.

4.3. Interface Web

O SIVEIN foi projetado para fornecer informações claras, objetivas e de fácil interpretação aos profissionais de saúde, dispensando a necessidade de configurações complexas ou treinamento prévio. Sua interface foi concebida no formato de *dashboard* analítico, reunindo gráficos e tabelas que apoiam a análise da cobertura vacinal e do aprazamento, além de disponibilizar filtros que permitem explorar os dados sob diferentes perspectivas demográficas e temporais.

A tela inicial do sistema, apresentada na Figura 3, exibe uma visão geral da cobertura vacinal do PBI de Tocantinópolis-TO. Nessa interface, o usuário pode interagir com diferentes componentes visuais, aplicar filtros por vacina, dose, ano e aldeia, bem como

exportar os dados para planilhas no formato CSV. As visualizações disponíveis incluem gráficos de cobertura vacinal por faixa etária e sexo, gráficos de barras que apresentam a cobertura por aldeia e gráficos de alertas que evidenciam localidades com maior incidência de doses em atraso, além de um gráfico de histórico que permite acompanhar a evolução da cobertura vacinal do polo ao longo do tempo.

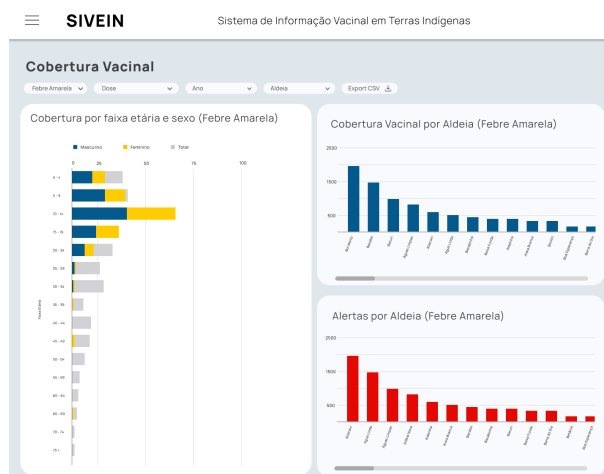


Figura 3. Tela Cobertura Vacinal não filtrada do SIVEIN

Além disso, o sistema disponibiliza a tela de aprazamento vacinal, voltada à visualização das próximas doses previstas e das doses em atraso, calculadas de forma automatizada a partir do histórico vacinal individual e do calendário da SBIm. Essa tela permite o acompanhamento do aprazamento por indivíduo, aldeia e imunobiológico, apresentando datas estimadas para aplicação das doses e seus respectivos status, oferecendo suporte ao planejamento das visitas às aldeias, à organização logística das equipes de saúde e à tomada de decisão.

5. Avaliação do SIVEIN

A avaliação do SIVEIN foi conduzida com base no Modelo de Aceitação de Tecnologia (TAM), com o objetivo de analisar a percepção dos profissionais de saúde do PBI de Tocantinópolis-TO quanto à utilidade, facilidade de uso e atitude em relação à adoção do sistema. O processo avaliativo ocorreu após a experimentação do protótipo funcional, em ambiente controlado, permitindo que os participantes interagissem diretamente com as funcionalidades de cobertura vacinal e aprazamento antes do preenchimento do instrumento de avaliação.

Os resultados referentes ao construto Utilidade Percebida indicam elevada aceitação do sistema, conforme ilustrado na Figura 4. A maioria absoluta dos participantes concordou totalmente que o SIVEIN facilita a identificação de lacunas vacinais, melhora a precisão das informações utilizadas no planejamento das ações de imunização, reduz erros no cálculo de prazos vacinais e torna mais ágil o acompanhamento da situação vacinal das crianças. Esses achados evidenciam que os profissionais reconhecem valor prático e aplicabilidade direta da ferramenta em suas rotinas de trabalho.

No que se refere à Facilidade de Uso Percebida, os resultados apresentados na Figura 5 demonstram que o sistema possui uma curva de aprendizagem reduzida e boa

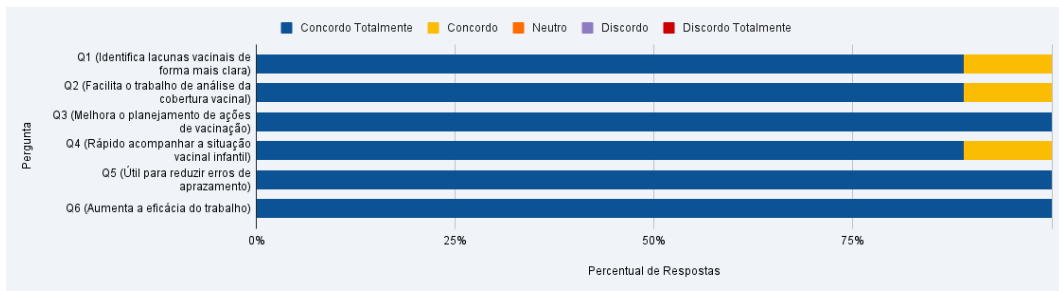


Figura 4. Utilidade Percebida do SIVEIN

usabilidade. A maioria dos respondentes concordou totalmente que a navegação é intuitiva, que os gráficos e visualizações são de fácil compreensão e que as informações necessárias são encontradas rapidamente, sem exigir esforço mental elevado. Esses fatores reforçam a adequação da interface do SIVEIN ao perfil dos usuários e ao contexto operacional do PBI.

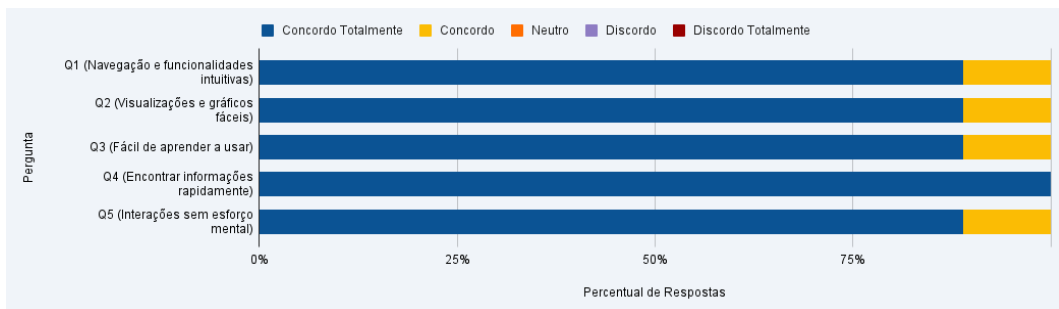


Figura 5. Facilidade de Uso Percebida do SIVEIN

Por fim, a avaliação da Atitude Percebida em Relação ao Uso, apresentada na Figura 6, revelou uma percepção majoritariamente positiva quanto à utilização do sistema nas atividades de análise de cobertura vacinal e aprazamento. Embora parte dos participantes tenha adotado uma postura neutra em relação à intenção de uso contínuo, aspecto esperado em avaliações prévias à implantação em ambiente real, predominam respostas favoráveis à incorporação do SIVEIN como ferramenta de apoio à tomada de decisão. A resposta aberta coletada ao final do formulário, indicando que o sistema é “simples e acessível”, corrobora os resultados quantitativos e reforça o potencial de adoção da solução no contexto da saúde indígena.

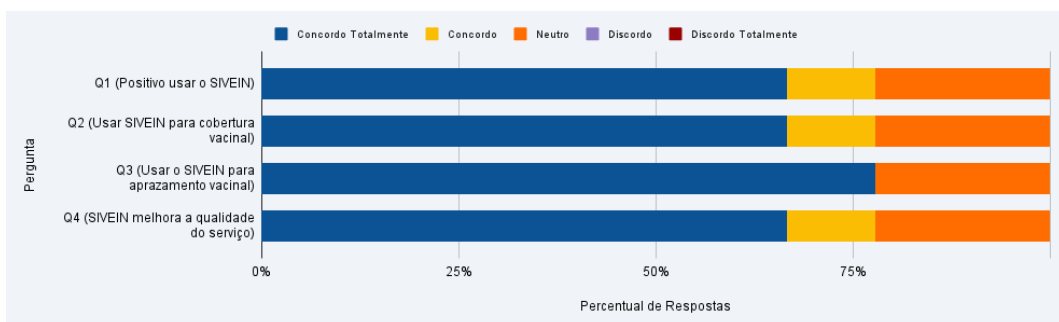


Figura 6. Atitude Percebida em Relação ao Uso do SIVEIN

6. Discussão e Implicações para Sistemas de Informação

Os resultados obtidos com o desenvolvimento e a avaliação do SIVEIN evidenciam como Sistemas de Informação (SI) bem projetados podem atuar como instrumentos estratégicos para a redução de desigualdades e o fortalecimento da gestão pública no Brasil. O trabalho demonstra que, em contextos críticos como a saúde indígena, os principais desafios não estão apenas na ausência de dados, mas na fragmentação, baixa interoperabilidade e limitada capacidade analítica dos sistemas existentes. Nesse sentido, o SIVEIN exemplifica como soluções orientadas a dados, com foco em usabilidade, desempenho e segurança, podem transformar bases governamentais subutilizadas em informação acionável para a tomada de decisão.

Do ponto de vista dos Sistemas de Informação, o estudo reforça a importância de abordagens que integrem engenharia de dados, modelagem analítica e avaliação com usuários finais. A adoção de uma arquitetura orientada a BI, aliada a um *pipeline* ETL robusto e a um motor de regras declarativo, evidencia um caminho viável para lidar com a complexidade crescente dos dados públicos no Brasil. Esse aspecto dialoga diretamente com um dos grandes desafios nacionais em SI: a predominância de sistemas transacionais isolados (OLTP), pouco preparados para análises agregadas, planejamento estratégico e uso intensivo por gestores em diferentes níveis da administração pública.

Outro ponto relevante refere-se à dimensão sociotécnica dos Sistemas de Informação. O SIVEIN demonstra que a efetividade de uma solução não depende apenas de sua sofisticação técnica, mas de sua adequação ao contexto organizacional, cultural e operacional dos usuários. A elevada aceitação observada na avaliação pelo modelo TAM indica que sistemas desenhados com participação dos usuários, interfaces intuitivas e alinhamento às rotinas de trabalho tendem a apresentar maior probabilidade de adoção sustentável.

Por fim, o trabalho traz implicações relevantes para o debate contemporâneo sobre governança de dados, interoperabilidade e equidade em Sistemas de Informação no país. A necessidade de múltiplas etapas de limpeza, normalização e mapeamento semântico evidencia fragilidades estruturais na padronização dos dados governamentais, bem como lacunas na integração entre sistemas nacionais. Assim, o SIVEIN contribui não apenas como uma solução aplicada, mas como um estudo de caso representativo dos desafios e caminhos possíveis para a evolução dos Sistemas de Informação em saúde e no setor público brasileiro.

7. Conclusão

O presente trabalho apresentou o SIVEIN como uma solução digital voltada à melhoria da gestão vacinal no PBI de Tocantinópolis-TO, demonstrando que a automatização do tratamento e da visualização dos dados do SI-PNI pode reduzir esforços manuais, minimizar erros e ampliar a capacidade de monitoramento da cobertura e do aprazamento vacinal. A arquitetura proposta, aliada ao *pipeline* de dados e ao motor de regras baseado no calendário infantil, mostrou-se adequada para transformar dados brutos em informações acionáveis, contribuindo diretamente para o planejamento e a tomada de decisão em um contexto marcado por limitações estruturais e logísticas.

Os resultados da avaliação com profissionais de saúde indicaram elevada aceitação do sistema, com percepções positivas quanto à utilidade, facilidade de uso e intenção de

adoção. Esses achados reforçam que o SIVEIN atende às necessidades práticas do território estudado e possui potencial de escalabilidade para outros polos e aldeias, desde que respeitadas as especificidades locais. Assim, o sistema se consolida como uma ferramenta viável para apoiar a vigilância vacinal e promover maior equidade no acesso à informação em saúde indígena.

Como trabalhos futuros, destaca-se a integração direta com sistemas nacionais, como o SI-PNI e a Rede Nacional de Dados em Saúde, eliminando importações manuais. Além disso, a adaptação do SIVEIN para outros distritos sanitários e a incorporação de técnicas de inteligência artificial e modelos preditivos abrem novas possibilidades de uso, permitindo antecipar riscos epidemiológicos, otimizar a logística vacinal e fortalecer, de forma contínua, a vigilância em saúde indígena.

Referências

- Ashwini, L. H., Vinaykumar, L. H., Asha, B., and Hanumanaik, L. (2024). The importance of vaccination in strengthening global health systems. *African Journal of Biomedical Research*, 27(4s):12651–12657. Research Article. Disponível em: <https://africanjournalofbiomedicalresearch.com/index.php/AJBR>. Acesso em: 10 jun. 2025.
- Brasil (2019). *Saúde Brasil 2019*. Brasil. Ministério da Saúde, Brasília.
- Brooks, D. J., Kim, C. I., Mboussou, F. F., and Danovaro-Holliday, M. C. (2024). Developing national information systems to monitor covid-19 vaccination: A global observational study. *JMIR Public Health and Surveillance*, 10:e62657. Disponível em: <https://publichealth.jmir.org/2024/1/e62657>. Acesso em: 15 jun. 2025.
- Danovaro-Holliday, M., Ortiz, C., Cochi, S., and Matus, C. (2014). Electronic immunization registries in latin america: Progress and lessons learned. *Revista Panamericana de Salud Pública*, 35:453–457.
- Domingues, C., Woycicki, J., Rezende, K., and Henriques, C. M. (2015). Programa nacional de imunização: a política de introdução de novas vacinas. *Revista Eletronica Gestão Saúde*, 6:3250.
- Miranda-Soberón, U., Pino-Arana, I., Pastor-Ramírez, N., Figueroa-Cabezudo, E., Zevallos-Parra, C., and Valencia-Borja, G. (2025). Vaccination coverage and adherence to scheduling in children aged 0 to 18 months: Effects of covid-19 and age. *Vaccines (Basel)*, 13(4):387. Disponível em: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC12031324/>. Acesso em: 3 jul. 2025.
- OMS (2018). *Analysis and Use of Health Facility Data*. Organização Mundial da Saúde, Geneva.
- Rahmadhan, M. A. W. P. and Handayani, P. W. (2023). Integrated immunization information system in indonesia: Prototype design using quantitative and qualitative data. *JMIR Formative Research*, 7:e53132.
- Scharf, L. G., Coyle, R., Adeniyi, K., Fath, J., Harris, L., Myerburg, S., Kurilo, M. B., and Abbott, E. (2021). Current challenges and future possibilities for immunization information systems. *Academic Pediatrics*, 21(4S):S57–S64.

Minibiografias dos Autores

Gabriel Al-Samir G. Sales:

Graduado em Engenharia de Software pela Universidade Federal do Ceará (UFC), Campus de Quixadá. Mestrando em Computação pelo Programa de Pós-Graduação em Computação (PCOMP) da UFC, Campus de Quixadá. Possui interesse nas áreas de desenvolvimento Back-End, Engenharia de Software e Gerência de Projetos. Tem experiência no desenvolvimento de aplicações web utilizando tecnologias como React, Node.js, C, .NET e Ruby on Rails. Atuou como desenvolvedor em empresas como Vetta Digital e V360, com foco em sistemas complexos, integrações com ERP e ambientes de alta performance.

Francisco Victor da S. Pinheiro:

Professor do magistério superior da Universidade Federal do Ceará (UFC), atuando no Campus de Quixadá. Doutorando em Ciência da Computação pelo Programa de Pós-Graduação em Ciência da Computação (MDCC/UFC). Mestre em Computação pelo Programa de Pós-Graduação em Computação (PCOMP/UFC – Campus de Quixadá, 2023) e graduado em Sistemas de Informação pela mesma instituição (2021). Possui experiência na área de Ciência da Computação, com ênfase em Engenharia de Software, Ecossistemas de Software, Internet das Coisas e Ciência de Dados.

Emanuel F. Coutinho:

Professor do magistério superior da Universidade Federal do Ceará, lotado no Campus Quixadá, atuando nas áreas de Sistema de Informação e Engenharia de Software. Possui graduação, mestrado e doutorado em Ciência da Computação. Atua no Programa de Pós-Graduação em Computação (PComp), da Universidade Federal do Ceará (UFC) - Campus Quixadá, e no Programa de Pós-Graduação em Tecnologia Educacional (PPGTE), da Universidade Federal do Ceará (UFC).

Rossana M. C. Andrade:

PhD, Professora Titular da Universidade Federal do Ceará (UFC), Departamento de Ciência da Computação (DC). Rossana possui 20 anos de experiência na coordenação de projetos de Pesquisa, Desenvolvimento e Inovação envolvendo parceiros da indústria e do governo. Ela é a Diretora Fundadora do Grupo de Pesquisa GREat. Obteve seu doutorado pela Universidade de Ottawa, SITE, em 2001, e desde então formou 50 mestres e 12 doutores, mantendo um nível constante e relevante de publicações e registros de software. Suas áreas de pesquisa são redes de computadores e engenharia de software, especificamente, ela investiga os desafios de desenvolvimento, testes e avaliação de software, com foco para o uso de dados, técnicas de inteligência artificial e sensores em dispositivos vestíveis. Ela investiga soluções inovadoras para facilitar o desenvolvimento de software e aumentar sua segurança. Atualmente, aplica sua expertise no domínio de sistemas no setor público e na saúde.