



I CONGRESSO INTERNACIONAL DE TECNOLOGIAS EMERGENTES

Conectando Ideias, Construindo o Futuro

13 e 14 de Dezembro de 2024

BLOCKCHAIN NO SISTEMA DE SAÚDE: SEGURANÇA, INTEROPERABILIDADE E EFICIÊNCIA

Fabricio Kleinicke Gomes¹

DOI:10.5281/zenodo.14299176

Facti-Fundação de apoio à Capacitação em Tecnologia da Informação fabricao.gomes@facti.com.br

Resumo

O emprego do blockchain no setor de saúde apresenta soluções inovadoras para desafios como a interoperabilidade dos registros eletrônicos de saúde (EHRs), a rastreabilidade de medicamentos e vacinas e a segurança de dados sensíveis. Este artigo explora como essa tecnologia pode transformar os sistemas de saúde, com foco em aplicações práticas em países como Peru, Índia e África do Sul, destacando os benefícios e limitações observados em estudos recentes.

Os resultados indicam que sistemas baseados em blockchain, quando integrados a padrões como HL7-FHIR, melhoram a interoperabilidade, promovendo eficiência e redução de custos operacionais. No gerenciamento de suprimentos farmacêuticos, a tecnologia demonstrou eficácia na prevenção de fraudes, especialmente em cadeias de medicamentos e campanhas de vacinação. Além disso, o uso de blockchain combinado com dados reais (RWD) possibilita decisões baseadas em evidências, ampliando a confiança no sistema e otimizando a alocação de recursos.

Desafios como altos custos iniciais, integração com sistemas legados e resistência à adoção tecnológica foram identificados. Apesar disso, os benefícios a médio e longo prazo, como maior transparência, segurança e confiabilidade, superam as barreiras iniciais, tornando o blockchain uma tecnologia promissora para a modernização do Sistema Único de Saúde (SUS).

Este estudo conclui que a adoção de blockchain no setor de saúde melhora a qualidade dos serviços, reduz ineficiências e fortalece a governança de dados, desde que implementada com estratégias que considerem os desafios técnicos e regulatórios. Os resultados sugerem implementar projetos-piloto e capacitação técnica como passos iniciais para ampliar a adoção no SUS e em sistemas globais.

Palavras-Chaves: Blockchain; Sistema Único de Saúde; EHR; Rastreabilidade; Segurança.

1. INTRODUÇÃO

O blockchain é uma tecnologia que vem ganhando destaque no setor de saúde devido à sua capacidade de enfrentar desafios relacionados à fragmentação de dados, rastreabilidade de medicamentos e segurança da informação. No Brasil, o Sistema Único de Saúde (SUS), um dos maiores sistemas públicos de saúde do mundo, enfrenta dificuldades relacionadas à interoperabilidade de registros e à governança de dados sensíveis. Experiências internacionais, como no Peru, Índia e África do Sul, demonstram que a adoção do blockchain pode oferecer soluções eficazes, otimizando processos e aumentando a eficiência operacional.

Estudos nacionais também reforçam o potencial da tecnologia blockchain para melhorar a gestão de dados de saúde, especialmente em prontuários eletrônicos. Carvalho et al. (2023) destacam que o uso de blockchain permite maior controle e segurança no armazenamento de dados clínicos, possibilitando aos pacientes acessarem suas informações de maneira mais eficiente e segura. Além disso, a revisão realizada pelos autores identifica o potencial do blockchain para eliminar intermediários e garantir registros imutáveis e rastreáveis, representando um avanço significativo na gestão de informações de saúde no contexto brasileiro.

No Peru, a integração de registros heterogêneos utilizando blockchain e o padrão HL7-FHIR permitiu avanços em interoperabilidade e privacidade dos dados (MAURICIO et al., 2024). Na Índia, o blockchain provou ser eficaz no combate à falsificação de medicamentos, utilizando plataformas como o Hyperledger Fabric para garantir a rastreabilidade e a segurança ao longo da cadeia de suprimentos (PANDEY; LITORIYA, 2021; PRADHAN et al., 2023). Já no contexto da pandemia de COVID-19, a combinação de blockchain com inteligência artificial (IA) foi aplicada ao rastreamento de vacinas, demonstrando resultados promissores na imutabilidade de registros e na acessibilidade em tempo real (PRADHAN et al., 2023).

Com sua capacidade de criar registros descentralizados, imutáveis e auditáveis, o blockchain apresenta oportunidades para modernizar processos e ampliar a integração entre diferentes atores do sistema de saúde. As aplicações práticas dessa tecnologia, como rastreamento de vacinas e medicamentos, interoperabilidade de registros eletrônicos de saúde (EHRs) e gestão de cadeias de suprimentos, ilustram seu potencial para transformar a administração de dados médicos e logísticos.

Este artigo explora o impacto do blockchain no setor de saúde com foco em três áreas principais:

- Registros Eletrônicos de Saúde (EHRs): analisando os sistemas implementados para integração e segurança de dados clínicos.
- Gestão de Suprimentos Farmacêuticos: explorando o rastreamento de medicamentos e vacinas para reduzir fraudes e aumentar a eficiência.
- Benefícios e Limitações Gerais do Blockchain: avaliando vantagens e desafios de sua adoção no setor.

O estudo foi desenvolvido com base em uma revisão de estudos, destacando casos práticos e tecnologias empregadas. A seção Metodologia descreve as etapas do processo de pesquisa, enquanto a parte de Resultados e Discussões analisa exemplos de aplicação, enfatizando benefícios e obstáculos. Este estudo visa aprimorar a compreensão do papel estratégico do blockchain na saúde pública, mostrando seu potencial para promover a segurança da informação, melhorar a eficiência operacional e fortalecer a confiança entre pacientes e prestadores de serviços de saúde.

2. METODOLOGIA

A presente pesquisa utilizou uma abordagem mista para analisar o impacto e as aplicações de sistemas de blockchain no setor de saúde, com foco em interoperabilidade, rastreabilidade, segurança de dados e desafios associados. A construção metodológica seguiu as etapas descritas abaixo, apoiando-se nas tabelas apresentadas para sintetizar os resultados.

2.1 Coleta e Análise de Dados Secundários

Foi realizada uma revisão sistemática da literatura utilizando os seguintes critérios:

- Bases de Dados Consultadas: Scopus, Web of Science e PubMed.
- Palavras-Chave: "Blockchain", "Healthcare", "EHR", "Supply Chain", "Vaccination Tracking".
- Filtro Temporal: Publicações entre 2020 e 2024.
- Critérios de Inclusão: Estudos que apresentassem aplicações práticas de blockchain em saúde, com ênfase em interoperabilidade, rastreamento de medicamentos e gestão de registros de saúde eletrônicos.

Os três artigos selecionados para comparação foram escolhidos devido à sua relevância no contexto da aplicação do blockchain em diferentes áreas críticas do setor de saúde. Cada estudo aborda um aspecto único e complementa a análise geral dos impactos dessa tecnologia, permitindo uma visão ampla e comparativa sobre as possibilidades e desafios da sua implementação.

O artigo de Mauricio et al. (2024) foca na interoperabilidade de registros eletrônicos de saúde (EHRs) no Peru, utilizando padrões como HL7-FHIR e blockchain para facilitar a integração entre sistemas heterogêneos. Este estudo foi escolhido porque demonstra como o blockchain pode ser usado para superar a fragmentação de dados, um problema recorrente em muitos sistemas de saúde. A pesquisa apresenta resultados claros sobre a melhoria da eficiência operacional e da segurança de dados, aspectos cruciais para modernizar sistemas de saúde em países em desenvolvimento.

O trabalho de Pandey e Litoriya (2021) destaca o uso do blockchain para combater a falsificação de medicamentos na Índia, utilizando o Hyperledger Fabric para rastrear a autenticidade ao longo da cadeia de suprimentos farmacêuticos. Este artigo foi selecionado devido à importância de abordar a segurança e a confiabilidade no fornecimento de medicamentos, especialmente em contextos onde fraudes representam uma ameaça significativa à saúde pública. A combinação de blockchain com medidas antifraude oferece um caso prático altamente relevante e com resultados comprovados na redução de medicamentos falsificados.

Por fim, o artigo de Pradhan et al. (2023) explora a aplicação de blockchain e inteligência artificial para o rastreamento de vacinas contra a COVID-19. Este estudo é particularmente relevante por demonstrar como a tecnologia pode ser utilizada para enfrentar crises de saúde globais, oferecendo rastreabilidade em tempo real e contribuindo para a transparência e eficiência logística. A integração com IA para classificação de grupos de vacinação é outro diferencial que enfatiza o potencial do blockchain para resolver problemas complexos em cenários emergenciais.

3.DESENVOLVIMENTO

Os artigos representam casos de uso que ilustram a versatilidade do blockchain em diferentes contextos do setor de saúde. Sua seleção foi motivada pela diversidade de aplicações, desde a interoperabilidade de sistemas até a segurança na cadeia de suprimentos e a resposta a emergências globais, compondo uma base para análise comparativa.

Os sistemas de blockchain foram organizados em três categorias principais, a partir das quais as tabelas foram elaboradas:

- **Sistemas de Registros Eletrônicos de Saúde (EHRs):** Os Sistemas de Registros Eletrônicos de Saúde (EHRs) facilitam o armazenamento, a gestão e o compartilhamento seguro de dados clínicos.

Comparação de soluções como HL7-FHIR no Peru e Hyperledger Fabric na África do Sul, conforme a tabela abaixo:

Tabela 1: Comparação de Sistemas de Blockchain para Registros Eletrônicos de Saúde (EHRs)

| Critério | Peru (HL7-FHIR) | África do Sul (Hyperledger Fabric) | Estados Unidos (MedChain) |
|----------------------|-----------------------------------|---|-----------------------------------|
| Objetivo | Interoperabilidade entre sistemas | Gerenciamento de EHRs | Armazenamento seguro e rastreável |
| Padrão de Integração | HL7-FHIR e IPFS | Hyperledger Fabric | IPFS e contratos inteligentes |
| Nível de Acesso | Paciente, médico, administrador | Administrador, médico | Paciente e centro médico |

Fontes: Baseado em informações dos artigos

Gestão de Suprimentos Farmacêuticos: Uso de blockchain para rastrear medicamentos e vacinas, com foco em personalização de recomendações de medicamentos e controle de fraudes, conforme tabela abaixo:

Tabela 2: Blockchain no Gerenciamento de Suprimentos Farmacêuticos

| Aspecto Avaliado | Gestão da Cadeia de Suprimentos | Rastreamento de Vacinas COVID-19 | Rastreamento de medicamentos |
|--------------------------|--|---|---|
| Objetivo | Personalizar recomendações de medicamentos | Rastrear vacinação e prever estoques | Evitar entrada de medicamentos falsificados |
| Tecnologia de Blockchain | Blockchain híbrido e aprendizado de | Ethereum com IPFS | Hyperledger Fabric |

| | | | |
|--------------------|--------------------------------------|-------------------------------------|-----------------------------|
| | máquina | | |
| Segurança de Dados | Algoritmos de criptografia avançados | Keccak-256 e contratos inteligentes | Auditoria e rastreabilidade |

Fontes: Baseado em informações dos artigos

Benefícios e Limitações de Blockchain: Avaliação geral das vantagens e desafios encontrados em sistemas implementados globalmente, conforme tabela abaixo:

Tabela 3: Benefícios e Limitações de Blockchain

| Critério | Benefícios | Limitações |
|----------------------|--|--|
| Segurança de Dados | Registros imutáveis e auditáveis | Escalabilidade limitada em grandes redes |
| Interoperabilidade | Facilita a troca segura de informações | Integração com sistemas legados complexa |
| Controle do Paciente | Transparência | Necessidade de regulação clara |
| Custo Operacional | Redução de custos a longo prazo | Investimento inicial elevado |

Fontes: Autor

A integração das tabelas consolidou e comparou as informações extraídas dos artigos selecionados. Cada tabela foi projetada para destacar aspectos fundamentais, como comparações técnicas (interoperabilidade e segurança em sistemas de EHRs), resultados específicos (rastreamento de vacinas e personalização de medicamentos) e impactos gerais (benefícios e desafios identificados em diferentes contextos).

A análise qualitativa explorou os impactos do blockchain em diferentes regiões, como o Peru, onde o foco foi a interoperabilidade via HL7-FHIR, e a Índia, com destaque para o rastreamento de medicamentos falsificados. Esses casos foram avaliados considerando a eficiência dos sistemas implementados, custo-benefício e usabilidade por stakeholders, como médicos, pacientes e administradores. Além disso, foram identificadas limitações técnicas, incluindo latência, escalabilidade e resistência à adoção tecnológica.

Os resultados foram validados com base na replicabilidade das tabelas e no alinhamento com dados empíricos apresentados nos estudos. A Tabela 1 demonstrou que o sistema de EHRs no Peru alcançou alta aceitação devido à compatibilidade com sistemas heterogêneos. A Tabela 2 evidenciou como o rastreamento de vacinas utilizando blockchain melhorou a transparência e reduziu fraudes em tempo real. Na Tabela 3 destacou os desafios, como escalabilidade limitada e custos iniciais elevados, enquanto enfatizou os benefícios a longo prazo, como maior segurança e eficiência.

A Tabela 4 fornece uma análise comparativa detalhada dos resultados em diferentes países, destacando métricas importantes:

Tabela 4: Análise Comparativa dos Resultados em Diferentes Países

| Critério | Peru (HL7 FHIR) | África do Sul (Hyperledger Fabric) | Índia (Rastreamento de Medicamentos) |
|----------------------|------------------------|---|---|
| Interoperabilidade | 95% | 90% | 80% |
| Redução de Fraudes | 40% (vacinas) | N/A | 25% |
| Latência | 0,8 segundos | 1,2 segundos | 1,5 segundos |
| Aceitação do Usuário | Alta | Alta | Moderada |
| Custo Inicial | Elevado | Moderado | Elevado |

Fontes: Baseado em informações dos artigos

A análise comparativa evidencia que o Peru lidera em interoperabilidade e redução de fraudes em vacinas, enquanto a África do Sul se destaca por uma latência intermediária e custo inicial mais acessível. A Índia, embora com menores índices de interoperabilidade e aceitação de usuários, mostrou eficiência no combate a medicamentos falsificados.

As tabelas permitiram identificar padrões e diferenças entre os sistemas estudados, consolidando evidências sobre os benefícios e desafios do blockchain no setor de saúde. Por

fim, a integração dessas informações reforça o potencial dessa tecnologia para modernizar processos, se forem implementadas estratégias para superar as limitações identificadas.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os resultados obtidos a partir da análise dos casos de uso e estudos revisados indicam que a aplicação de blockchain no setor de saúde apresenta benefícios, embora enfrente desafios técnicos e operacionais. No que diz respeito aos Registros Eletrônicos de Saúde (EHRs), sistemas baseados em blockchain como o HL7-FHIR no Peru e o Hyperledger Fabric na África do Sul mostraram avanços importantes. No Peru, o uso do padrão HL7-FHIR permitiu a integração de sistemas heterogêneos, facilitando o acesso seguro e eficiente a dados clínicos entre diferentes provedores de saúde. Estudos indicaram alta adoção por parte de pacientes e médicos, atribuída à facilidade de uso e aos benefícios percebidos em termos de segurança e eficiência. A interoperabilidade eliminou redundâncias, como exames repetidos, reduzindo custos.

Na gestão de suprimentos farmacêuticos, a tecnologia blockchain mostrou-se eficaz na gestão de cadeias de suprimentos. No caso da COVID-19, sistemas baseados em Ethereum e IPFS demonstraram rastreabilidade em tempo real, reduzindo a ocorrência de fraudes e melhorando a transparência. Na Índia, o Hyperledger Fabric foi utilizado para identificar e bloquear medicamentos falsificados na cadeia de distribuição, protegendo pacientes e aumentando a confiança no sistema. A integração de aprendizado de máquina com blockchain permitiu oferecer terapias farmacológicas personalizadas, melhorando os resultados clínicos.

Os benefícios gerais do blockchain foram evidenciados em múltiplos contextos. Registros imutáveis e auditáveis proporcionaram maior confiabilidade nos sistemas de saúde. Contratos inteligentes possibilitaram aos pacientes controlar quem tem acesso aos seus dados, promovendo maior privacidade e transparência. A tecnologia reduziu ineficiências em processos como rastreamento e integração de dados, aumentando a produtividade do sistema de saúde.

Apesar dos benefícios, desafios técnicos e regulatórios permanecem. A implementação de blockchain requer investimentos elevados em infraestrutura e treinamento de profissionais. A integração com sistemas legados é complexa, especialmente em países com infraestrutura limitada, apresentando dificuldades para interoperar com tecnologias baseadas em blockchain. Garantir a proteção de dados conforme regulamentações como a LGPD no Brasil continua sendo uma barreira.

Os impactos observados sugerem que a adoção de blockchain pode transformar o setor de saúde. O aumento na segurança e rastreabilidade promove maior confiança entre pacientes e provedores de saúde. Embora custosos no início, sistemas baseados em blockchain oferecem economia significativa no longo prazo, especialmente em setores como rastreamento de medicamentos e interoperabilidade de registros. A centralização descentralizada dos dados permite uma gestão mais eficiente e segura, evitando pontos únicos de falha.

Os resultados indicam que o blockchain pode resolver desafios no setor de saúde, especialmente no Sistema Único de Saúde (SUS). No entanto, sua implementação requer planejamento estratégico, começando por projetos-piloto em áreas-chave como rastreamento de vacinas e integração de EHRs. Esses avanços podem consolidar o blockchain como uma ferramenta essencial para modernizar os sistemas de saúde e melhorar a qualidade dos serviços prestados.

Por fim, os resultados de cada categoria foram comparados e discutidos para identificar padrões comuns e diferenças. Por exemplo, sistemas de rastreamento de vacinas com Ethereum e IPFS apresentaram maior flexibilidade em comparação com soluções baseadas exclusivamente em Hyperledger. O uso de blockchain para rastreamento de medicamentos na Índia demonstrou eficácia em evitar falsificações, enquanto o Peru focou na integração de sistemas heterogêneos.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados obtidos neste estudo demonstram que a tecnologia blockchain pode transformar o setor de saúde, especialmente em sistemas públicos como o Sistema Único de Saúde (SUS). Soluções como a interoperabilidade de registros eletrônicos de saúde (EHRs), o rastreamento de medicamentos e vacinas, e os avanços em segurança de dados destacaram os impactos positivos dessa tecnologia em diferentes contextos globais.

A implementação de blockchain no Peru, utilizando padrões HL7-FHIR, apresentou um aumento na eficiência operacional e redução de custos associados a redundâncias de dados. Na Índia, o uso de blockchain para rastrear medicamentos reduziu a circulação de medicamentos falsificados, promovendo maior segurança e confiança entre pacientes e provedores. Além disso, sistemas aplicados ao rastreamento de vacinas COVID-19, baseados em Ethereum e IPFS, mostraram eficácia ao melhorar a transparência e a rastreabilidade.

Apesar dos benefícios, desafios como altos custos iniciais de implementação, dificuldades na integração com sistemas legados e conformidade regulatória permanecem. No entanto, os benefícios de médio e longo prazo, como maior segurança, redução de fraudes e eficiência operacional, superam essas barreiras, tornando o blockchain uma tecnologia para modernizar e otimizar os sistemas de saúde.

Com base nesses resultados, recomenda-se a adoção de projetos-piloto em áreas estratégicas, como o rastreamento de medicamentos e a interoperabilidade de EHRs, além de investimentos em capacitação técnica e parcerias intersetoriais. A integração de blockchain com outras tecnologias emergentes, como inteligência artificial, também representa uma oportunidade para ampliar os impactos positivos dessa solução.

Conclui-se que o blockchain resolve problemas críticos do setor de saúde e estabelece uma base para um sistema mais eficiente, transparente e centrado no paciente. Sua adoção no SUS e em sistemas globais é necessária para garantir serviços de saúde mais resilientes, seguros e confiáveis no futuro.

REFERÊNCIAS

ALLA, K. R.; THANGARASU, G. Supply chain management of drug products in blockchain using reinforcement learning. *International Journal of Technology*, v. 14, n. 6, p. 1256-1265, 2023. Disponível em: <http://ijtech.eng.ui.ac.id>. Acesso em: 02 dez. 2024.

MACCARTHY, B. L.; DAS, S.; AHMED, W. A. H. Smell the perfume: can blockchain guarantee the provenance of key product ingredients in the fragrance industry? *Sustainability*, v. 16, 6217, 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/su16146217>. Acesso em: 10 nov. 2024.

MAURICIO, D. et al. Electronic health record interoperability system in Peru using blockchain. *International Journal of Online and Biomedical Engineering (iJOE)*, v. 20, n. 3, p. 136-153, 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.3991/ijoe.v20i03.44507>. Acesso em: 21 nov. 2024.

MANOJ, T.; MAKKITHAYA, K.; NARENDRA, V. G. A blockchain-based decentralized identifiers for entity authentication in electronic health records. *Cogent Engineering*, v. 9, 2035134, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1080/23311916.2022.2035134>. Acesso em: 02 out. 2024.

MILONE, V.; FUSCO, A.; DE FEO, A.; TATULLO, M. Clinical impact of "real world data" and blockchain on public health: a scoping review. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, v. 21, 95, 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/ijerph21010095>. Acesso em: 02 out. 2024.

PANDEY, P.; LITORIYA, R. Securing e-health networks from counterfeit medicine penetration using blockchain. *Wireless Personal Communications*, v. 117, p. 7-25, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s11277-020-07041-7>. Acesso em: 20 nov. 2024.

PRADHAN, N. R. et al. A blockchain and AI-based vaccination tracking framework for coronavirus (COVID-19) epidemics. *IETE Journal of Research*, v. 69, n. 11, p. 7803-7815, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.1080/03772063.2022.2058630>. Acesso em: 23 nov. 2024.

SIMONOSKI, O.; CAPESKA BOGATINOSKA, D. Block MedCare: Advancing healthcare through blockchain integration. *International Journal on Cybernetics & Informatics (IJCI)*, v. 13, n. 5, p. 63-84, 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.5121/ijci.2024.130505>. Acesso em: 28 nov. 2024.