

HealthHistory: Uma Arquitetura de Software para Histórico Médico Baseado em Blockchain para a Gestão do Paciente

Thiago Filipe Stival, Nicholas Câmara, Fabio Marques, Wallison Alves,
Valdemar Vicente Graciano Neto

¹Instituto de Informática – Universidade Federal de Goiás (UFG)

thiagofilipefestival5@gmail.com, nicholasygor@gmail.com

fabiottvsm@gmail.com, wallisonkaury@gmail.com, valdemarneto@ufg.br

Abstract. *Healthcare is an essential domain. Over their lives, people carry out multiple types of medical procedures (such as surgeries, consultations and exams) in different locations, which generates a large amount of data in heterogeneous, physical and perishable formats (printed exams, orders, prescriptions, among others). Furthermore, names of health professionals and patients' medical history are information subject to loss or forgetfulness. As a consequence, a healthcare professional often does not have access to the patient's complete health history and needs to redo tests or prescribe medications whose ineffectiveness may have already been proven by other professionals; which can cause financial waste for the patient, health insurers and/or the public health system, in addition to delays in the patient's recovery or treatment. The main contribution of this work is to present the software architecture and HealthHistory, an application whose architecture was structured using Blockchain to maintain a unique and standardized medical history of patients. It was evaluated by 17 experts in software architecture and/or blockchain. Results indicate that the use of blockchain together with mobile applications is viable as a solution to the problem of storing and sharing patients' medical history.*

Resumo. *Saúde é um domínio essencial. Pessoas realizam, ao longo da vida, múltiplos tipos de procedimentos médicos (tais como cirurgias, consultas e exames) em diferentes locais, o que gera uma grande quantidade de dados em formatos heterogêneos (exames impressos, pedidos, receitas, prescrições, dentre outros) e geralmente físicos e perecíveis. Ademais, nomes de profissionais de saúde, histórico médico e quando o paciente foi consultá-lo são informações sujeitas a perda ou esquecimento. Como consequência, um profissional de saúde muitas vezes não tem acesso ao histórico completo de saúde do paciente e precisa refazer exames ou prescrever medicamentos cuja ineficácia pode já ter sido comprovada por outros profissionais; o que pode causar desperdícios financeiros para o paciente, para as seguradoras de saúde e/ou para o sistema público de saúde, além de atraso na recuperação ou tratamento do paciente. A principal contribuição deste trabalho é apresentar a arquitetura de software e o aplicativo derivado HealthHistory, um aplicativo cuja arquitetura foi estruturada utilizando Blockchain para manter um histórico médico único e uniformizado de pacientes. Ele foi avaliado por 17 especialistas em arquitetura de software e/ou blockchain. Resultados indicam que o uso de blockchain jun-*

tamente com aplicações móveis são viáveis como solução para o problema de armazenamento e compartilhamento de histórico médico de pacientes.

1. Introdução

O domínio da saúde tem sido intensamente influenciado pela tecnologia, demandando soluções de vanguarda para tornar mais eficientes os atendimentos, diagnósticos e tratamentos. No modelo atual, informações pessoais críticas referentes à saúde de cada um encontram-se dispersas em arquivos físicos e perecíveis, ou em vários sistemas (de clínicas, hospitais ou laboratórios independentes). Esses sistemas não se intercomunicam e ficam restritos aos seus proprietários e não ao paciente em questão [Staff 2019]. Tal fenômeno impacta na segurança desses dados, podendo acarretar danos ao paciente, com informações médicas vazadas e/ou vendidas sem consentimento, perda de dados, dentre outros danos que podem ocorrer por negligência e/ou infração.

O cenário mencionado mostra a necessidade de fazer o paciente proprietário dos seus dados médicos [Batchelor et al. 2015], podendo escolher com quem e o que ele/a deseja compartilhar, preservando a integridade deles, não permitindo que ele mude seu histórico médico deliberadamente ou acidentalmente. Tecnologias deveriam então (i) evitar modificações maliciosas, (ii) oferecer maior confiabilidade, e (iii) facilidade de compartilhamento dos dados. Nesse contexto, a *blockchain* pode satisfazer tais requisitos. *Blockchain* é um livro eletrônico de registros com características bem definidas (descentralização, consenso, imutabilidade, proveniência e finalidade [Kassab et al. 2021]) e que não pode ser modificado [Kassab et al. 2019]. Devido a essas características, investigações têm sido conduzidas para entender como a *blockchain* pode ser incorporada em arquiteturas de software [Kassab et al. 2023].

A principal contribuição deste trabalho é a apresentação de uma solução para integrar arquiteturas de software para sistemas de registros médicos pessoais com *blockchain*. Um aplicativo chamado **HealthHistory** foi desenvolvido a partir da arquitetura e avaliado por 17 especialistas em arquitetura de software e *blockchain*. Resultados mostram que a arquitetura acomoda adequadamente a infraestrutura de *blockchain* para viabilizar a gestão do paciente no tocante a seu histórico médico.

Este artigo está organizado como segue: A Seção 2 apresenta a fundamentação teórica; a Seção 3 discute o método de pesquisa adotado; a Seção 4 apresenta a arquitetura desenvolvida; a Seção 5 exibe a avaliação do projeto; a Seção 6 traz a discussão dos resultados; e a Seção 7 apresenta conclusões e trabalhos futuros.

2. Fundamentação Teórica

Arquitetura de Software consiste na definição da estrutura, comportamento e propriedades de um sistema de software [Kruchten 1995], descrevendo o sistema em termos funcionais e não funcionais. Elas são especificadas através de visões arquiteturais, isto é, instâncias de pontos de vista, onde cada ponto de vista existe para descrever a arquitetura na perspectiva de um conjunto de *stakeholders* e seus consortes. As visões mais comuns são lógica, de processo, de desenvolvimento, visão física e cenários [Kruchten 1995]. Arquiteturas de software podem utilizar várias tecnologias para realizar persistência de seus dados, dentre elas a *Blockchain*.

Blockchain é um tipo de DLT (tecnologia de registros distribuídos). Ela é dividida em duas categorias: pública e privada [Abijaude et al. 2021]. *Blockchain* foi proposta inicialmente por Nakamoto como parte de uma moeda eletrônica (*Bitcoin*), permitindo a duas partes negociarem diretamente sem a intervenção de terceiros [Nakamoto 2008]. Esse sistema de transações, baseado em *peer-to-peer*, é disposto em uma cadeia de blocos que são compostos por um cabeçalho e um corpo [Park and Park 2017]. O cabeçalho possui valores de *hash*, formando assim uma cadeia em que cada bloco depende do anterior. Caso alguém tente mudar o registro, terá que mudar todos os blocos posteriores. Com isso, quanto maior a quantidade de blocos em uma cadeia, maior será sua confiabilidade. Os blocos possuem também o *nonce*, um número aleatório utilizado para autenticação, o qual é obtido através de uma prova de trabalho (PoW¹), por meio de algoritmo criptográfico. O corpo do bloco é composto com os dados da transação. A transação entre as partes é realizada com a chave pública de cada parte. Por essa chave ser pública, qualquer pessoa pode ter acesso e verificar na rede dados básicos sobre ela, como a data da transação. A chave privada é utilizada para assinar digitalmente a transação. Algumas *blockchains* trabalham com o uso de contratos inteligentes. Contratos inteligentes são programas que verificam ou fazem cumprir acordos contratuais no ambiente distribuído e confiável da *blockchain* [Gomes and Coutinho 2022, Santiago et al. 2021, Szabo 1996].

Os cuidados com a saúde geram um grande volume de dados. Com isso, surge a necessidade de proteção e compartilhamento desses dados. A *blockchain* viabiliza que tais informações críticas sejam gravadas em uma estrutura segura e imutável, permitindo também o compartilhamento sob decisão do proprietário dos dados.

Trabalhos Correlatos. O uso de *blockchain* para registro eletrônico de paciente (do inglês EHR) é um tópico recente, mas já bastante explorado [Kassab et al. 2019]. Alguns trabalhos correlatos têm surgido nos últimos anos. Azaria et al apresentam um sistema chamado de MedRec, para solucionar três problemas apresentados por eles que envolvem registros médicos eletrônicos: (i) a fragmentação dos dados, (ii) a falta de interoperabilidade e (iii) a falta de controle que o paciente tem sobre seus dados [Azaria et al. 2016]. O sistema utiliza a tecnologia *blockchain Ethereum*, que é pública, para armazenar os dados médicos. O que é armazenado nos blocos é uma referência a dados em um banco de dados externo e um *hash* para verificar a sua integridade. Esta solução difere da HealthHistory porque a abordagem escolhida neste foi da *blockchain* privada para controle de quem acessa os dados das transações e de quem participa da rede, além de abordar a nuvem apenas com arquivos grandes.

Junqueira et al apresentam uma solução arquitetural com *blockchain* e contratos inteligentes para compartilhamento de dados de saúde de um paciente com profissionais da saúde. A arquitetura propõe um Sistema de Monitoramento Remoto de Pacientes (SMRP) para obter os dados de sensores que serão compartilhados em uma rede social onde os dados somente são compartilhados caso o paciente deseje [Junqueira et al. 2019]. A solução deles difere desta por escolherem uma abordagem de rede social para o compartilhamento e armazenamento dos dados, além de abordarem somente dados de sensores.

A acomodação de *blockchain* em arquiteturas de software ainda tem sido discutida pela comunidade acadêmica [Kassab et al. 2023]. O uso de aplicativos para fins de EHR,

¹Há também outras técnicas para atingir consenso em tais redes, como prova de participação, mas não será abordada aqui.

por sua vez, em particular no Brasil, ainda é escasso. O aplicativo ConecteSUS², por exemplo, dispõe de algumas informações, como histórico vacinal, mas ainda é limitado sobre as outras informações do histórico de saúde do paciente.

No ConecteSUS, uma quantidade pequena de informações da saúde do paciente está disponível para o cidadão, enquanto que o perfil de profissional de saúde tem acesso a todo o histórico de saúde do paciente, uma inversão em relação ao que é proposto pelo app HealthHistory. Ainda que também utilize *blockchain*, as informações são potencialmente incompletas, uma vez que detêm informações do Prontuário Eletrônico do Cidadão, o e-SUS da Atenção Primária à Saúde (APS), que contém apenas aquelas informações relativas ao atendimento que o cidadão recebeu no sistema público de saúde. Neste sentido, ainda que inclua vacinas, exames de detecção da Covid-19 e consultas na rede pública, não há o histórico de rede particular, de prescrições e tampouco de exames com cobertura mais ampla. A próxima seção apresenta o método de pesquisa utilizado.

3. Método de Pesquisa

Este trabalho foi desenvolvido sob a égide da *Design Science Research* (DSR) com contribuição de natureza prescritiva [Gregor and Hevner 2013]. DSR é uma metodologia útil e complementar aos métodos empíricos clássicos [Wohlin et al. 2003]. DSR apoia-se na premissa de que, para criar soluções inovadoras, é necessário avançar o estado da arte. Logo, a aplicação sistemática de DSR para solução de um problema produz avanço no estado da arte como efeito colateral da criação dos artefatos inovadores.

4. Desenvolvimento da Arquitetura e Aplicação

Essa seção apresenta os detalhes da solução arquitetural. A Figura 1 apresenta a visão de desenvolvimento/estrutural, mostrando os módulos principais e como eles integram entre si. O componente de aplicação é constituído pela aplicação móvel, que é voltada para os pacientes e/ou seus responsáveis. Para adicionar um registro de saúde no bloco, ele primeiro deve ser validado pelo médico e/ou responsável na instituição de saúde; por isso é necessário a interoperabilidade com os sistemas médicos já existentes. Dessa forma, o paciente não tem a possibilidade de fraudar seu próprio histórico, como por exemplo, inserir dados de uma vacina que ele não recebeu.

O paciente também possui acesso às funcionalidades para inserir observações nos registros, como por exemplo, associar um exame feito a uma consulta ou uma observação diversa, além das funcionalidades de buscar seu histórico de saúde. A Figura 2 apresenta o diagrama de sequência, que corresponde à visão lógica de Kruchten. A Figura 3 apresenta um diagrama de componentes voltado ao sistema do paciente. Ele mostra que o paciente pode se cadastrar na plataforma com informações como nome, CPF, e-mail e senha para login. O CPF será o ID do paciente na rede *blockchain* e irá identificar o respectivo bloco daquele paciente. Por isso, ao se cadastrar, já é criado um bloco gênese na rede *blockchain* para aquele paciente, iniciando assim seu histórico.

Aplicação Desenvolvida. A prova de conceito desse trabalho foi o desenvolvimento da HealthHistory, uma aplicação móvel que insere dados de uma consulta e busca o histórico para o paciente a fim de avaliar a viabilidade do uso da *blockchain* para o armazenamento

²<https://conectesus.saude.gov.br/home>

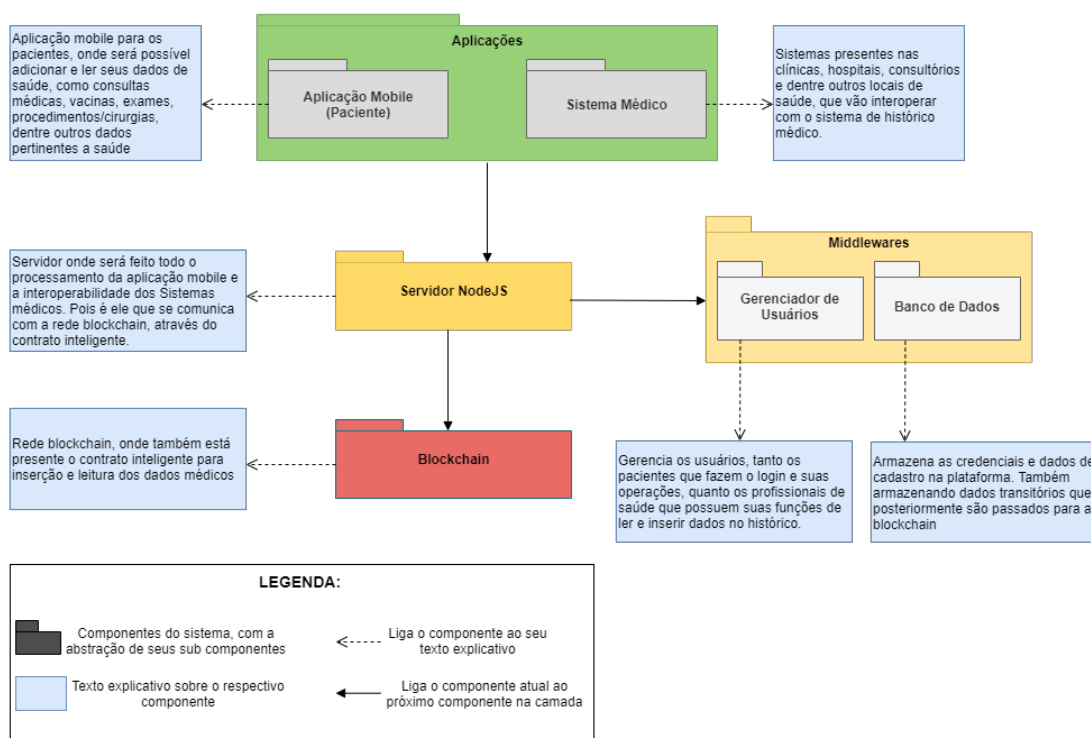


Figure 1. Solução Arquitetural de armazenamento e compartilhamento dos dados médicos

desses dados. Para o aplicativo móvel, foi utilizada a linguagem JavaScript com o *framework* React Native, com as funções de autenticação (cadastro e login), inserir consultas médicas (com data, horário, médico, especialidade médica e observações) e buscar o histórico de consultas. No *backend*, o servidor foi desenvolvido em NodeJS, que também é JavaScript, onde foram alocadas todas as regras de negócio e também o banco de dados, sendo um deles Postgres para armazenamento do cadastro dos pacientes e informações de login no aplicativo (tais como e-mail, senha e *tokens* de acesso), e o outro banco de dados sendo o redis que é muito utilizado para guardar informações em cache, ele armazena o resultado da pesquisa no histórico de consultas. E também é através do servidor NodeJS que é feita a conexão com o contrato inteligente para as operações com a rede *blockchain*.

No que se refere à rede *blockchain*, foi utilizada a plataforma Hyperledger³, sobre a qual foi desenvolvido o contrato inteligente e também usada a linguagem JavaScript para isso. Cada bloco da rede representa um paciente, e o conteúdo do bloco é um *array* de consultas médicas, onde cada posição do *array* é um objeto com os dados da consulta médica. E assim, cada inserção/alteração, os blocos são armazenados no chamado Estado global (*World State*), que é a última versão da rede *blockchain*, e os blocos obsoletos vão para o histórico de transações, já que nada na rede *blockchain* é excluído permanentemente, apenas deixa de existir no Estado global. A aplicação também permite visualizar o tempo das transações e processamento da informação. A aplicação pode ser apreciada em [vídeo de demonstração de utilização](#)⁴.

³<https://www.hyperledger.org/>

⁴https://drive.google.com/file/d/1ZY1BG_Sr5r0dbFcBjsdDT6hvDIyQt1P0/view?usp=sharing

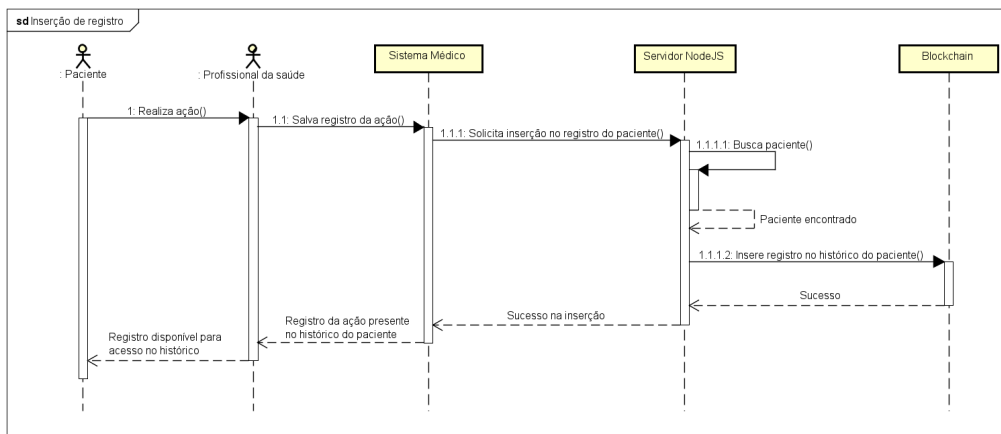


Figure 2. Diagrama de sequência UML - Inserção do registro ao histórico do paciente. Fonte: Os autores.

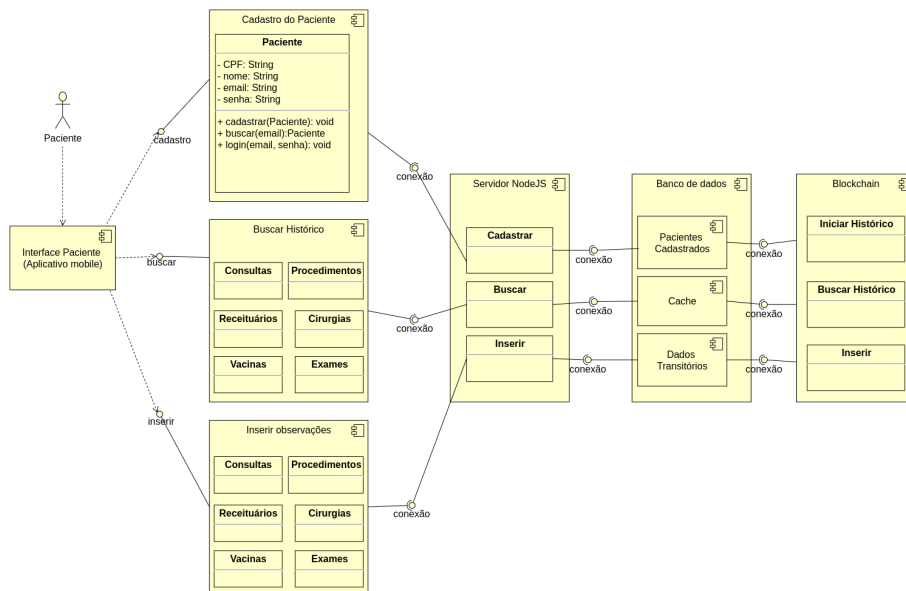


Figure 3. Diagrama de componentes UML - Componentes do aplicativo móvel

5. Avaliação

Planejamento. A avaliação foi realizada através de um *survey*, um questionário construído e distribuído a partir do *Google Forms*, com especialistas em *blockchain* e arquitetura de software, abordando quatro seções de questões, que são: demográficas (ou de caracterização dos respondentes), referentes à arquitetura, *blockchain* e sobre o aplicativo desenvolvido. As respostas seguiram a escala Likert, 1- discordo totalmente, 2- discordo, 3- indiferente (ou neutro), 4- concordo e 5- concordo totalmente. O formulário e as questões usadas não são disponibilizados aqui por restrições de espaço, mas podem ser visualizadas na tabela de respostas em link externo⁵.

Coleta de Dados e Execução. O link do questionário online foi compartilhado através de e-mails com especialistas conhecidos/próximos (por conveniência) e a partir deles compartilhado com suas redes de contato. O formulário ficou ativo aproximadamente 1 mês,

⁵<https://docs.google.com/spreadsheets/d/1NJD2STQlcUYbdOSigeF-sxUppLRsjGuA5HxG8HfjPnM/edit?usp=sharing>

de 19 de Agosto de 2020 a 19 de Setembro de 2020. O formulário foi concebido com um Termo de Consentimento Livre e Esclarecido (TCLE), dispensando apreciação de Comitê de Ética, por enquadrar-se na categoria *Pesquisa de opinião pública com participantes não identificáveis*, conforme o Ofício Circular No 17/2022/CONEP/SECNS/MS, de julho de 2022 e OFÍCIO CIRCULAR No 12/2023/CONEP/SECNS/DGIP/SE/MS.

Resultados. O questionário teve um total de **17 respondentes** de cinco unidades da Federação (Amazonas, Ceará, Goiás, Pará e Rio de Janeiro). Não se perguntou a respeito do gênero dos respondentes. As respostas ao formulário estão disponíveis de forma anonimizada em link externo⁶, seguindo as diretrizes de Ciência Aberta [Cordeiro et al. 2022]. Dentre os respondentes, 7 estavam com doutorado em andamento, 5 eram doutores, 4 com mestrado em andamento e um superior incompleto. No que tange ao tempo de experiência em arquitetura de software, a maioria era especialista. Dez (58,8%) possuem mais de 4 anos de experiência, 1 (5,9%) 2 a 4 anos, 4 (23,5%) de 1 a 2 anos, 2 (11,8%) menos de 1 ano. Quanto ao conhecimento em blockchain, 1 (5,9%) possui mais de 4 anos de experiência, 4 (23,5%) 2 a 4 anos, 6 (35,3%) 1 a 2 anos e 6 (35,3%) menos de 1 ano. 13 respondentes eram da academia, 1 de instituto de pesquisa, e 3 da indústria.

Sobre a arquitetura, 7 (41,2%) concordam totalmente que a arquitetura atende ao propósito da aplicação, 6 (35,3%) concordam, 3 (17,6%) indiferentes/neutros e 1 (5,9%) discorda. Em relação aos atributos de qualidade, 5 (29,4%) concordam totalmente que são atendidos, 6 (35,3%) concordam, 5 (29,4%) indiferentes/neutros e 1 (5,9%) discorda. Sobre os diagramas, de componentes, 8 (47,1%) concordam totalmente, 4 (23,5%) concordam, 2 (11,8%) indiferentes/neutros e 3 (17,6%) discordam, de sequência, 8 (47,1%) concordam totalmente, 5 (29,4%) concordam, 3 (17,6%) indiferentes/neutros e 1 (5,9%) discorda totalmente. Isso mostra que, em geral, a arquitetura consegue atender seu propósito.

Sobre a rede *blockchain*, 8 (47,1%) concordam totalmente com a escolha da *blockchain* privada, 7 (41,2%) concordam e 2 (11,8%) indiferentes/neutros. Sobre a representação dos pacientes na rede, 8 (47,1%) concordam totalmente, 5 (29,4%) concordam, 2 (11,8%) indiferentes/neutros, 1 (5,9%) discorda e 1 (5,9%) discorda totalmente. Em relação à disposição das informações nos blocos, 6 (35,3%) concordam totalmente, 5 (29,4%) concordam, 5 (29,4%) indiferentes/neutros, 1 (5,9%) discordam. As respostas revelam que a escolha da rede *blockchain* e a disposição das informações nos blocos atendem a necessidade da arquitetura, mas também revela que necessita melhorar a representação dos pacientes na rede.

Por fim em relação ao aplicativo desenvolvido, 10 (58,8%) concordam totalmente que atende a proposta da arquitetura, 3 (17,6%) concordam, 3 (17,6%) indiferentes/neutros, 1 (5,9%) discorda. Sobre a forma, adotada na aplicação, que as informações foram tratadas e dispostas nos blocos, 6 (35,3%) concordam totalmente, 5 (29,4%) concordam, 5 (29,4%) indiferentes/neutros, 1 (5,9%) discorda totalmente. Em relação a configuração da rede *blockchain*, 5 (29,4%) concordam totalmente, 5 (29,4%) concordam, 5 (29,4%) indiferentes/neutros, 1 (5,9%) discorda, 1 (5,9%) discorda totalmente. Se obteve boas métricas e desempenho, 8 (47,1%) concordam totalmente, 4 (23,5%) concordam, 4 (23,5%) indifer-

⁶<https://docs.google.com/forms/d/1NtbKoGFaDw79ucXXJNwQ5vMWHmhbfYiif2ohQag11-8/viewanalytics>

entes/neutros, 1 (5,9%) discordam. Conseguiu validar a viabilidade do uso de *blockchain* com aplicações móveis, 10 (58,8%) concordam totalmente, 4 (23,5%) concordam e 3 (17,6%) indiferentes/neutros. Em geral, o aplicativo conseguiu validar a viabilidade e demonstrar a arquitetura de forma satisfatória, apesar de ter sido apenas um protótipo e poucos usuários utilizaram. Ao serem perguntados se utilizariam um aplicativo de registro médico pessoal proposto pela arquitetura, 9 (52,9%) concordam totalmente, 6 (35,3%) concordam, 2 (11,8%) discordam totalmente. Isso mostra que um aplicativo com essas características é aceitável e pode ser utilizado em ambiente real, e trazer benefícios tanto para profissionais da saúde quanto para os pacientes.

6. Discussão

Os resultados mostram que, de modo geral, a arquitetura e aplicação derivada tiveram boa aceitação por partes dos respondentes. Algumas preocupações recorrentes acontecem quando pensa-se em aplicações baseadas em *blockchain*. Uma delas é a justificativa para utilizar *blockchain* ao invés de um banco de dados tradicional. A escolha de tal tecnologia justifica-se pelos vários atributos de qualidade (AQ) que são reforçados devido a seu uso, em particular segurança, incorruptibilidade e imutabilidade. Tais AQ não necessariamente são garantidos em um banco de dados tradicional, em que tabelas ou registros podem ser apagados e o acesso depende apenas de uma senha. Ainda assim, é importante salientar que nem todas as informações precisam ser gravadas na *blockchain*, e há exemplos de aplicações híbridas que guardam parte das informações críticas em *blockchain*, em bancos de dados e/ou na nuvem [Abreu et al. 2020, Wellington dos Santos Abreu et al. 2021].

Outro ponto importante de discussão sobre uma arquitetura e aplicativo desenvolvidos para o público brasileiro é sua aderência e conformidade com a *Lei Geral de Proteção de Dados* (LGPD⁷), que trata sobre como aplicativos e serviços de Tecnologia da Informação devem lidar com dados pessoais de seus usuários. Dado que o aplicativo utiliza *blockchain*, somente o usuário proprietário dos registros pode acessar e compartilhar os dados criptografados. No que tange ao **consentimento do paciente** (usuário), o compartilhamento do histórico se dá através da iniciativa do paciente em compartilhar. Sobre **como os dados chegam ao sistema**, a arquitetura prevê interoperabilidade entre sistemas médicos existentes, de forma transparente para o usuário (mas arbitrada por ele). Quanto aos **direitos do titular dos dados**, o paciente é proprietário dos seus dados. Os dados não podem ser alterados e nem excluídos. Mas o usuário pode inserir novos dados atualizados nas redes *blockchain*. A exclusão dos dados na rede *blockchain* não seria possível, mas como somente o paciente teria a chave de acesso ao sistema, assim como carteiras de criptomoedas, a necessidade de excluir os dados se torna menos necessária. Quanto à **segurança dos dados**, ao utilizar *blockchain* em conjunto com *cloud* e criptografias para armazenar os dados, garante-se segurança e inviolabilidade dos dados. Para isso, o sistema utiliza chaves assimétricas, onde o proprietário é dono da chave privada e cabe a ele manter a segurança dela. Por fim, quanto ao **processamento dos dados**, a priori, o sistema não faria nenhum processamento, com isso, não teria grandes problemas em infringir essa regra.

Limitações e Ameaças à Validade. O número de respondentes é relativamente baixo (17), o que pode ser uma ameaça à validade e generalização dos resultados. No entanto,

⁷LEI Nº 13.709, DE 14 DE AGOSTO DE 2018: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2015-2018/2018/lei/113709.htm

ressalta-se a dificuldade em conseguir especialistas no tema, além de números de respondentes semelhantes em outros estudos similares, como o estudo com 22 participantes em [Cavalcanti et al. 2021]. Outro ponto diz respeito ao fato de avaliação ser feita com especialistas em *blockchain* e arquitetura, não com profissionais de saúde ou usuários pacientes. Profissionais da saúde não são o público alvo inicial. Entende-se que a avaliação atual é preliminar, e que outras avaliações com potenciais pacientes e/ou profissionais de saúde serão realizadas. Outras possíveis limitações dizem respeito a altos custos da rede *blockchain* e desempenho, uma vez que o tempo de resposta poderia ser comprometido pela rede *blockchain*, gerando uma experiência desagradável para os usuários. Entretanto, a rede sobre a qual foi implementado o protótipo usa algoritmo de consenso não associado a mineração, o que reduz potencialmente o tempo de resposta; e os custos podem ser cobertos pelos valores de assinatura do aplicativo por parte dos pacientes usuários. Ademais, durante as avaliações, o tempo de resposta do aplicativo não foi superior a 3 segundos, o que pode ser considerado um tempo razoável, e que mitiga as limitações identificadas. Outro ponto importante é que a rede *blockchain* não foi desenvolvida para salvar grande quantidade de dados. Os blocos possuem um limite de tamanho e um usuário da rede possui um limite de blocos criados. A utilização para salvar registros médicos pode enfrentar dificuldades, como a dificuldade de salvar um exame no histórico na *blockchain*. Isso pode ser resolvido com a utilização de armazenamento em nuvem juntamente com a criptografia de arquivos para garantir a integridade do exame, assim como é utilizado por Azaria et al [Azaria et al. 2016].

Os resultados do estudo podem ter viés, uma vez que a escolha dos respondentes foi majoritariamente feita por conveniência. Entretanto, as respostas anonimizadas garantiram que pudessem responder sem julgamento de valor e sem conhecimento da autoria, reduzindo o risco do viés. Uma última limitação é que o aplicativo, como concebido, cobre apenas registro de consultas, não cobrindo exames, histórico vacinal, prescrições médicas e histórico de procedimentos. Tais elementos são considerados trabalhos futuros. Em suma, os resultados da avaliação foram positivos e limitações ao estudo consideradas, além de ameaças mitigadas. Portanto, a arquitetura concebida pode ser considerada viável para uso em produção. A próxima seção apresenta considerações finais.

7. Considerações Finais

Este artigo apresentou uma arquitetura que exibiu como acomodar um componente *blockchain* em sistemas de registros médicos pessoais. Um aplicativo foi desenvolvido e avaliado por 17 especialistas. Os resultados mostraram que a arquitetura é viável e aderente aos avanços no estado da arte, contribuindo para o estado da prática ao apresentar características não presentes em muitas aplicações e estudos similares. Como trabalhos futuros, vislumbra-se o acréscimo de outros dados de histórico médico, tais como vacinas, exames, medicamentos prescritos e procedimentos cirúrgicos, além de avaliação de usabilidade com usuários em potencial e profissionais de saúde utilizando Escala de Usabilidade do Sistema (SUS) e TAM (*Technology Acceptance Model*) e testes de escalabilidade para medir o tempo de resposta do serviço sob diferentes níveis de uso.

References

Abijaude, J. W., Greve, F., and de Lima Sobreira, P. (2021). *Jornada de Atualização em Informática*, chapter Blockchain e Contratos Inteligentes para Aplicações em IoT, Uma Abor-

- dagem Prática, pages 1–49. SBC.
- Abreu, A. W., Coutinho, E. F., and Bezerra, C. I. M. (2020). A blockchain-based architecture for query and registration of student degree certificates. In Cavalcante, E., Dantas, F., Batista, T., and Pinto, G., editors, *SBCARS*, pages 151–160, Natal, RN. ACM.
- Azaria, A., Ekblaw, A., Vieira, T., and Lippman, A. (2016). Medrec: Using blockchain for medical data access and permission management. In *2nd OBD*, pages 25–30. IEEE.
- Batchelor, S., Waldman, L., Bloom, G., Rasheed, S., Scott, N., Ahmed, T., Khan, N. U. Z., and Sharmin, T. (2015). Understanding health information seeking from an actor-centric perspective. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 12:8103–8124.
- Cavalcanti, A., Correa, J. A., Nascimento, J. W., Souza, R., Roque, G., and Queiroz, S. R. (2021). Desenvolvimento e validação de um assistente virtual para farmacovigilância de vacinas. In *21o SBCAS*, pages 428–433, Evento Online. SBC.
- Cordeiro, A., Oliveira Jr, E., and Capretz, L. (2022). Towards an open science-based framework for software engineering controlled (quasi-)experiments. In *16o Brazilian e-Science Workshop*, pages 57–64, Niterói. SBC.
- Gomes, A. and Coutinho, E. (2022). Um estudo inicial sobre a importância de simular contratos inteligentes em blockchain. In *4o MSSiS*, pages 1–10, Uberlândia/MG. SBC.
- Gregor, S. and Hevner, A. R. (2013). Positioning and presenting design science research for maximum impact. *MIS quarterly*, pages 337–355.
- Junqueira, N. R., da Silva, G. A., and de Carvalho, S. T. (2019). Concessão de permissão a dados de saúde baseada em blockchain. In *Anais da VII ERI-GO*, pages 263–274. SBC.
- Kassab, M., DeFranco, J., Malas, T., Laplante, P., Destefanis, G., and Neto, V. V. G. (2021). Exploring research in blockchain for healthcare and a roadmap for the future. *IEEE Transactions on Emerging Topics in Computing*, 9(4):1835–1852.
- Kassab, M., DeFranco, J., Malas, T., Neto, V. V. G., and Destefanis, G. (2019). Blockchain: A panacea for electronic health records? In *1st SEH@ICSE*, pages 21–24. IEEE.
- Kassab, M., Neto, V. V. G., and Destefanis, G. (2023). BlockArch’23 - Fourth International Workshop on Blockchain-Based Architecture. In *20th ICSC Companion*, page 199. IEEE.
- Kruchten, P. (1995). Architectural blueprints—the “4+ 1” view model of software architecture. *IEEE software*, 12(6).
- Nakamoto, S. (2008). Bitcoin: A peer-to-peer electronic cash system. *Decentralized business review*.
- Park, J. H. and Park, J. H. (2017). Blockchain security in cloud computing: Use cases, challenges, and solutions. *Symmetry*, 9(8):164.
- Santiago, L., Abijaude, J., and Greve, F. (2021). A framework to generate smart contracts on the fly. In *35o SBES*, Joinville. SBC.
- Staff, C. (2019). Access controls and healthcare records: Who owns the data? *Commun. ACM*, 62(7):41–46.
- Szabo, N. (1996). Smart contracts: building blocks for digital markets. *EXTROPY: The Journal of Transhumanist Thought*, (16), 18(2):28.
- Wellington dos Santos Abreu, A., Coutinho, E. F., and Ilane Moreira Bezerra, C. (2021). Performance evaluation of data transactions in blockchain. *IEEE Latin America Transactions*, 20(3):409–416.
- Wohlin, C., Höst, M., and Henningsson, K. (2003). Empirical research methods in software engineering. *Empirical methods and studies in software engineering: Experiences from ESERNET*, pages 7–23.