

Blockchain application in healthcare for medical data sharing: a systematic review
Aplicação de Blockchain na área da saúde para compartilhamento de dados de pacientes:
uma revisão sistemática

Considered as one of the emerging technologies in the coming years, Blockchain is a computational technique that uses a chain of block structure for distributed and immutable transactions recording. In addition to applications in areas such as financial and educational, health applications are also a promising area. Regarding precepts like security, audit, data provenance and permission to share medical data, Blockchain is a technology that supports data sharing among hospitals, clinics, laboratories and other health organizations. This paper presents a systematic review analyzing the use of the technology and its applications in healthcare, benefits and challenges of the use of blockchain in medical data sharing.

Blockchain, medical data.

Considerada uma das tecnologias emergentes para os próximos anos, o Blockchain é uma técnica computacional que permite o registro de transações distribuídas e imutáveis utilizando-se de uma estrutura de cadeia de blocos. Além de suas aplicações em áreas como, por exemplo, financeira e educacional, a área da saúde também apresenta oportunidade de aplicações para o uso da tecnologia. Tendo em vista preceitos como segurança, auditoria, proveniência de dado e permissão no compartilhamento de dados de pacientes, o Blockchain apresenta-se como uma tecnologia para auxiliar no compartilhamento de dados de pacientes entre hospitais, clínicas, laboratórios e outras instituições de saúde. Este trabalho apresenta uma revisão sistemática analisando o uso da tecnologia e suas aplicações no contexto da saúde, benefícios e desafios do uso de Blockchain para compartilhamento de dados de pacientes.

Blockchain, dados de pacientes

INTRODUÇÃO

O gerenciamento das ações governamentais para combate da pandemia de COVID-19 – declarada pela Organização Mundial da Saúde em março de 2020 – demonstrou a necessidade de acesso rápido e confiável a informações de saúde para a elaboração de políticas públicas. Parte da dificuldade enfrentada pelas agências governamentais de saúde é que essas informações são coletadas, armazenadas e gerenciadas de forma independente pelos atores do sistema de saúde. Considerada uma das tecnologias emergentes para os próximos anos (Gartner, 2019), o *Blockchain* é uma técnica computacional que permite a distribuição de dados de forma rápida, segura e rastreável. *Blockchain* tem se mostrado uma opção viável em diversos setores governamentais, como cartórios e registros de transações comerciais (DINIZ, 2017). Além desses setores, o *Blockchain* tem sido visto como oportuno na área educacional (COSTA et al., 2018), financeira (TAPSCOTT; TAPSCOTT, 2017) e médica (NGUYEN, 2018). No contexto de saúde, o *Blockchain* permite a construção de sistemas de informação que possibilitam o compartilhamento de informações, mantendo garantias essenciais como privacidade, autenticidade, integridade e proveniência de dados sejam mantidas (WEISS et al., 2017). Na atuação em pandemias como a do COVID-19, a possibilidade de agregar e processar dados inicialmente distribuídos pode fortalecer a pesquisa no estudo de tratamentos e curas para doenças (DEPARTMENT OF HEALTH AND HUMAN SERVICES, 2015) e monitoramento da recente pandemia (DINIZ; ALÉGO, 2020).

A aplicação de *Blockchain* para o compartilhamento de dados de pacientes requer uma série de políticas que devem ser bem definidas e respeitadas. O uso de *Blockchain* em aplicações de saúde requer a definição precisa de políticas de compartilhamento de dados e segurança de informação, a saber, controle de permissão de visualização de dados, autenticação e integridade. A seguir, essas características serão detalhadas nesse contexto.

Primeiramente, é necessário um controle preciso de quais informações podem ser compartilhadas e quem terá permissão para visualizá-las. É preciso definir quais dados podem ser visualizados, segundo o papel de cada usuário. Por exemplo, algumas anotações médicas só devem ser visualizadas por profissionais da área autorizados (AZARIA et al., 2016), permanecendo ocultas de pacientes, por se tratarem de condutas médicas internas.

Outra característica fundamental no compartilhamento de dados de paciente refere-se à autenticidade do dado compartilhado. A falta de mecanismos de autenticidade apropriados é um dos motivos que fazem os pacientes não quererem compartilhar suas informações (DUBOVITSKAYA et al., 2017). Com a utilização de uma camada de distribuição compartilhada, a rastreabilidade permitida pela tecnologia garante a proveniência do dado.

Sob o aspecto de segurança, a integridade do dado de um paciente é de extrema importância, para o compartilhamento. O armazenamento de forma distribuída faz com que para se alterar um dado, seja necessário um alto custo computacional.

Com uma diversidade de sistemas, incluindo sistemas legados (VAZIRANI et al., 2019) nota-se um grande número de fontes de dados de pacientes (MANDL; SZOLOVITS; KOHANE, 2001). Para reaproveitar um exame realizado em um laboratório, um paciente precisa transportar seu exame impresso para um hospital. Em outros casos é necessário que

o paciente refaça o exame. A adoção de *Blockchain* permite que o sistema de um hospital receba um exame do sistema de um laboratório, com confiabilidade na autenticidade do mesmo, de forma digital (KUO; OHNO-MACHADO; ROJAS, 2019).

Além do benefício para pacientes e organizações, pesquisadores da área da saúde também podem ser beneficiados com a adoção de *Blockchain*. Ao analisar um grande número de fontes de dados, a atuação de pesquisadores é facilitada na identificação de riscos à saúde pública, além do desenvolvimento de tratamentos e curas para doenças (DEPARTMENT OF HEALTH AND HUMAN SERVICES, 2015).

Este trabalho apresenta uma revisão sistemática, que tem como objetivo identificar as aplicações de *Blockchain* voltadas para uso na área da saúde para compartilhamento de dados de pacientes. Neste trabalho espera-se responder perguntas relacionadas ao uso da tecnologia e formas de sua aplicação no contexto da saúde, benefícios e desafios do uso de *Blockchain* para compartilhamento de dados de pacientes.

Conceitos fundamentais

Nesta pesquisa estuda-se o uso de *Blockchain* para compartilhamento de dados de pacientes. Para uma melhor compreensão das possibilidades criadas por essa tecnologia, apresenta-se os conceitos fundamentais que a permeiam.

Bitcoin (NAKAMOTO, 2008) é uma criptomoeda que faz uso de uma aplicação de *Blockchain*. Nessa aplicação, a proposta de uso do *Blockchain* era que fosse possível a existência de um livro-caixa contendo dados que não fossem passíveis de alteração. Com o *Bitcoin* seria possível realizar pagamentos entre duas pessoas, sem que fosse mandatória a participação de uma instituição financeira intermediando a transação entre as duas partes.

Com o avanço no desenvolvimento da tecnologia, o *Blockchain* sofreu mudanças que trouxeram melhorias e auxiliaram a automação e eficiência de processos. Em 2014, conheceu-se o *Blockchain 2.0* e, por meio da *Ethereum*, em 2015, implementações de contratos inteligentes (ECONOMIST, 2015).

Sendo a base tecnológica por trás das criptomoedas, o *Blockchain* tem sido de grande interesse para uso em meios de pagamento. Com isso, o interesse por parte das instituições financeiras nessa tecnologia tem crescido constantemente. O *Bitcoin* tornou-se tão valioso que um (1) *Bitcoin* equivalia a mais de trinta mil reais, em outubro de 2019, segundo Cointimes (2019). Nesse mesmo período, existiam quase três mil criptomoedas conhecidas, como por exemplo *Bitcoin*, *Ethereum*, *Ripple*, *Tether*, *Litecoin*, entre outras.

Blockchain é um livro razão de registros digitais, transações ou eventos criptografados por meio de uma função *hash*. Esses registros são autênticos e gerenciados por meio de uma rede distribuída e compartilhada de nós utilizando algoritmos de consenso (KOMBE et al., 2019). O livro razão é composto por blocos, que contêm cada uma das transações que acontecem na cadeia, podendo ser o compartilhamento de um documento, como por exemplo um prontuário eletrônico de um paciente. Assim sendo, qualquer bloco é capaz de validar uma transação, com base na lista de transações ocorridas, que é compartilhada com todos os blocos.

Ethereum e *Hyperledger* são plataformas de *Blockchain* que expandiram e generalizaram o uso de *Blockchain* para além de *Bitcoin*. Dentre as novas ideias apresentadas por tais plataformas, destaca-se o conceito de contratos inteligentes. Também conhecidos pelo seu termo em inglês, *Smart Contracts*, tratam-se de regras que serão executadas, sem a necessidade de um intermediário.

Com funcionalidades semelhantes a contratos físicos, um contrato inteligente envolve uma condição que, quando atingida, dispara a execução de algoritmos com funções predefinidas. No contexto da saúde, contratos inteligentes podem ser aplicados no compartilhamento de dados autorizados por pacientes (AZARIA et al., 2016). Neste exemplo, quando a condição ocorre, ou seja, o aceite de compartilhamento de dados por parte do paciente, um novo dado referente ao compartilhamento é publicado no *Blockchain*, referente ao compartilhamento, contendo as informações de identificação do paciente, do hospital que utilizará o dado e quais dados foram compartilhados. Neste modelo de regra autoexecutável após uma determinada condição ser atingida, um contrato inteligente pode ser implementado com algumas finalidades. Entre elas, encontra-se a obtenção, processamento ou distribuição de dados, bem como a execução de uma determinada ação, segundo a regra pré-definida (CARDOSO, 2018).

Uma rede de *Permissioned Blockchain* é uma rede onde somente alguns nós possuem permissão para realização de operações na cadeia (CONCEIÇÃO; ROCHA; PAULA, 2019). Nessa rede, essa autoridade pode ser implementada de forma centralizada ou descentralizada. Nesse tipo de *Blockchain*, existe a possibilidade de definição de permissões, como visualizar e/ou gravar transações. Dessa forma, os nós que possuem autoridade podem definir permissões como, por exemplo, apenas leitura ou apenas gravação de dados (YAGA et al., 2018).

Por outro lado, em uma rede *Permissionless Blockchain*, um bloco pode ser adicionado ao *Blockchain* sem necessidade de autorização. Uma vez que um nó pertence à rede, esse nó pode realizar modificações na cadeia (CONCEIÇÃO; ROCHA; PAULA, 2019). Devido a sua principal característica de ausência de permissões, nesse tipo de implementação, usuários mal-intencionados podem tentar fazer alterações de dados nos blocos (YAGA et al., 2018). Para evitar esse tipo de ação, nesse tipo de rede são utilizados algoritmos de consenso.

MÉTODO

Este trabalho é uma Revisão Sistemática (RS), utilizando fontes de dados de literaturas acadêmicas, que seguiu a metodologia definida por Kitchenham (2007). Em primeiro lugar, foi realizado o planejamento da RS, definindo as bases científicas e critérios de inclusão e exclusão. Em seguida, foi realizada a coleta dos artigos, segundo os critérios aplicados.

Após essa etapa, foi realizado um estudo com base nas questões definidas para essa revisão sistemática. Para cada questão, foi realizada uma análise, nos artigos coletados na primeira etapa da revisão. Por fim, após a análise das questões de pesquisa é apresentada a conclusão deste trabalho. Além da conclusão referente a análise realizada, são elicitadas

recomendações sobre o tema em estudo. Dessa forma, esta RS será apresentada em três etapas: planejamento, condução e extração de dados.

Planejamento

Neste trabalho, foi realizada uma RS da literatura, com o objetivo de verificar o uso da tecnologia *Blockchain* na área da saúde para o compartilhamento de dados de pacientes. Nesta RS foram utilizadas as bibliotecas digitais consideradas as principais fontes de artigos científicos na área de estudo deste trabalho. As bibliotecas utilizadas foram: *ACM Digital Library (ACM)* - banco de dados com artigos de computação e tecnologia da informação, *Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE)* - banco de dados com artigos técnicos de engenharia e tecnologia, *PubMed* - banco de dados de literatura biomédica e ciências da vida e *Scopus* com trabalhos de áreas de ciência, tecnologia, medicina, ciências sociais e artes e humanidades, consideradas as principais fontes de artigos científicos na área de estudo deste trabalho.

Esta RS teve como objetivo identificar as aplicações de *Blockchain* voltadas para uso na área da saúde para compartilhamento de dados de pacientes. Com a RS esperava-se obter: (i) um panorama do uso da tecnologia para esse fim; (ii) identificar as aplicações utilizadas no mercado, bem como aquelas em estágio inicial de desenvolvimento; (iii) identificar os benefícios de uso da tecnologia e (iv) elencar os desafios do uso da tecnologia no contexto em análise. Esses objetivos podem ser traduzidos nas seguintes questões de pesquisa (QP):

1. Quais as aplicações acadêmicas/de pesquisa já desenvolvidas ou em desenvolvimento que fazem uso de *Blockchain* para compartilhamento de dados de pacientes?

O objetivo da Questão de Pesquisa 1 (QP1) era identificar as aplicações que faziam uso da tecnologia *Blockchain* na área da saúde. Nessa questão, foram mapeadas as aplicações utilizadas na área da saúde, bem como as aplicações em estágio de desenvolvimento.

2. Quais são as plataformas de *Blockchain* utilizadas por essas aplicações?

O objetivo da Questão de Pesquisa 2 (QP2) era identificar as plataformas tecnológicas utilizadas pelas aplicações que faziam uso de *Blockchain* na área da saúde. Nessa questão, foram mapeadas as principais plataformas de *Blockchain* utilizadas nas aplicações referências para compartilhamento de dados de pacientes, identificadas na QP1.

3. Quais são os benefícios da adoção dessa tecnologia para compartilhamento de dados de pacientes?

O objetivo da Questão de Pesquisa 3 (QP3) era identificar os aspectos positivos para o uso da tecnologia *Blockchain* para compartilhamento de dados de pacientes. Nessa questão, foram identificadas as oportunidades, que poderiam ser consideradas como razões para a adoção dessa tecnologia no escopo analisado.

4. Quais são os desafios da adoção dessa tecnologia para compartilhamento de dados de pacientes?

O objetivo da Questão de Pesquisa 4 (QP4) era identificar os aspectos negativos para o uso da tecnologia *Blockchain* para compartilhamento de dados de pacientes. Por meio dessa

questão, foram identificadas as dificuldades a serem consideradas para a adoção dessa tecnologia no escopo analisado.

Com o objetivo de identificar os artigos de maior relevância para o tema abordado, nesta RS foram aplicados os seguintes critérios de inclusão, exclusão e qualidade:

Critérios de inclusão

- Trabalhos publicados e disponíveis integralmente em bases de dados científicas. Este critério teve como objetivo garantir o acesso ao artigo completo;
- Trabalhos publicados entre janeiro de 2015 e abril de 2020. Este critério de inclusão teve como objetivo considerar os trabalhos de publicação mais recentes;
- Trabalhos que apresentam aplicações de *Blockchain*, ainda que estejam em desenvolvimento. Este critério de inclusão teve como objetivo incluir entre os artigos coletados aplicações de *Blockchain* que ainda estavam em fase inicial.

Critérios de exclusão

- Trabalhos que não fazem uso de *Blockchain* como parte da solução. Este critério de exclusão teve como objetivo não incluir na base de dados final artigos referentes a aplicações de outras tecnologias quem não fosse *Blockchain*;
- Trabalhos que não tenham aplicação na área da saúde. Este critério de exclusão teve como objetivo não incluir trabalhos fora do contexto da área de saúde;
- Trabalhos que não utilizam *Blockchain* para gerenciamento de dados de pacientes. Este critério de exclusão teve como objetivo não incluir entre os artigos coletados aplicações de *Blockchain* que utilizavam a tecnologia para outros fins diferentes de gerenciamento de dados de pacientes.

A seguir apresenta-se os três critérios de qualidade utilizados:

- O primeiro critério refere-se ao tipo de artigo. A Nota N1 foi 0, para artigos curtos ou resumos; 1, para artigos completos;
- O segundo critério aborda o tipo de veículo, em que o artigo foi publicado. A Nota N2 foi 0, caso o artigo tenha sido publicado em uma Conferência; 1, caso fosse publicado em um Periódico;
- O terceiro critério refere-se à categoria do artigo. A Nota N3 foi 1, caso o artigo apresentasse uma discussão sobre o tema; 2, caso o artigo consistisse de uma revisão sistemática; 3, caso o artigo fosse relacionado a uma aplicação prática de *Blockchain* para o compartilhamento de dados de pacientes.

A Tabela 1 apresenta a composição da nota final (NF). A NF de cada artigo é composta pela somatória das notas $N1 + N2 + N3$. A exclusão é feita para os artigos que tenham $NF < 3$.

Tabela 1

Critérios de qualidade utilizados para classificação dos artigos coletados na RS.

N1	N2	N3	NF	Exclusão
0 ou 1	0 ou 1	1, 2 ou 3	$N1+N2+N3$	$NF < 3$

Com base nas questões de pesquisa, o termo de busca a seguir, foi utilizado, bem como suas respectivas adaptações, para cada uma das fontes de dados. Além disso, o idioma utilizado no termo de busca foi definido como inglês, uma vez que se trata de uma pesquisa relacionada a uma tecnologia emergente.

Termo de busca: *((blockchain) AND (“medical records” OR “healthcare” OR “health care” OR “medical”))*

Condução

Nesta RS, a base de dados foi composta pelos artigos coletados utilizando quatro fontes de dados. A Tabela 2 apresenta as quantidades de artigos coletados, filtrados e selecionados com base nos critérios definidos.

Tabela 2

Quantidade de artigos coletados e fontes de dados durante a fase de Condução da RS.

Fonte	Artigos coletados	Filtros	Selecionados
ACM	202	28	0
IEEE	350	182	15
PubMed	148	57	18
Scopus	642	282	13
Total	1342	549	46

Além das quantidades mencionadas acima, foi aplicado um filtro de artigos em duplicidade. Com isso, 148 artigos foram filtrados, por se tratarem de trabalhos em duplicidade no conjunto de dados escolhido.

Extração de Dados

Os artigos selecionados nesta etapa da RS estão listados no Quadro 1.

Quadro 1

Artigos extraídos na RS

Artigo	Ano	Tipo	Fonte
(ADLAM; HASKINS, 2019)	2019	Aplicação	IEEE
(ALEXANDER et al., 2019)	2019	Aplicação	IEEE
(AZARIA et al., 2016)	2016	Aplicação	IEEE
(CHEN et al., 2018)	2018	Aplicação	IEEE
(CICHOSZ et al., 2018)	2018	Aplicação	IEEE
(DARAGHMI; DARAGHMI; YUAN, 2019)	2019	Aplicação	IEEE
(DIMITROV, 2019)	2019	Aplicação	IEEE
(DU et al., 2020)	2020	Aplicação	IEEE
(ISMAIL; MATERWALA; ZEDADALLY, 2019)	2019	Aplicação	IEEE
(JIN et al., 2019)	2019	Aplicação	IEEE

(SHAHNAZ; QAMAR; KHALID, 2019)	2019	Aplicação	IEEE
(WANG; ZHANG; ZHANG, 2019)	2019	Aplicação	IEEE
(WONG; YEE; NØHR, 2018)	2018	Aplicação	IEEE
(XU et al., 2019)	2019	Aplicação	IEEE
(XU et al., 2019)	2019	Aplicação	IEEE
(ZGHAIBEH et al., 2020)	2020	Aplicação	IEEE
(BOULOS; WILSON; CLAUSON, 2018)	2018	Aplicação	PubMed
(DROSATOS; KALDOUDI, 2019)	2019	Aplicação	PubMed
(GORDON; CATALINI, 2018)	2018	Aplicação	PubMed
(HYLA; PEJAS, 2019)	2019	Aplicação	PubMed
(HYLOCK; ZENG, 2019)	2019	Aplicação	PubMed
(JIANG et al., 2018)	2018	Aplicação	PubMed
(KUO; KIM; OHNO-MACHADO, 2017)	2017	Aplicação	PubMed
(LO et al., 2019)	2019	Aplicação	PubMed
(MERTZ, 2018)	2018	Aplicação	PubMed
(MOTOHASHI et al., 2019)	2019	Aplicação	PubMed
(NCHINDA et al., 2019)	2019	Aplicação	PubMed
(OMAR et al., 2017)	2017	Aplicação	PubMed
(ROEHRS et al., 2019)	2019	Aplicação	PubMed
(ROEHRS; COSTA; RIGHI, 2017)	2017	Aplicação	PubMed
(YAZDINEJAD et al., 2020)	2020	Aplicação	PubMed
(KAUR et al., 2018)	2018	Discussão	PubMed
(PIRTLE; EHREN-FELD, 2018)	2018	Discussão	PubMed
(KUO; ROJAS; OHNO-MACHADO, 2019)	2019	Revisão Sistemática	PubMed
(CHEN et al., 2019)	2019	Aplicação	Scopus
(LEE, 2019)	2019	Aplicação	Scopus
(MAKHDOOM et al., 2020)	2020	Aplicação	Scopus
(TANWAR; PAREKH; EVANS, 2020)	2020	Aplicação	Scopus
(THWIN; VASUPONGAYYA, 2018)	2018	Aplicação	Scopus
(WU; TSAI, 2018)	2018	Aplicação	Scopus
(XIAO et al., 2018)	2018	Aplicação	Scopus
(SKIBA, 2017)	2017	Discussão	Scopus
(XIA et al., 2017)	2017	Discussão	Scopus
(ZHANG et al., 2018)	2018	Discussão	Scopus
(ZHUANG et al., 2018)	2018	Discussão	Scopus
(ZUBAYDI et al., 2019)	2019	Revisão Sistemática	Scopus

RESULTADOS

Nesta seção são apresentadas as aplicações de *Blockchain* para compartilhamento de dados de pacientes, plataformas de *Blockchain* utilizadas pelas aplicações identificadas e benefícios e desafios no uso de *Blockchain* para compartilhamento de dados de pacientes, segundo cada QP definida para esta RS.

- *Aplicações de Blockchain para compartilhamento de dados de pacientes (QP1)*

As aplicações de *Blockchain* para compartilhamento de dados de pacientes identificadas na literatura até a realização desta RS são apresentadas no Quadro 2.

Quadro 2

Aplicações de Blockchain para compartilhamento de dados de pacientes

Aplicação	País	Autor
<i>BlocHIE</i>	China	(JIANG et al., 2018)
<i>CB-EHRs</i>	África do Sul	(XU et al., 2019)
<i>EMRShare</i>	Singapura	(XIAO et al., 2018)
<i>FHIRChain</i>	Estados Unidos	(ZHANG et al., 2018)
<i>Healthcare Data Gateway</i>	China	(CHEN et al., 2018)
<i>HealthChain</i>	Canadá	(XU et al., 2019), (HYLOCK; ZENG, 2019)
<i>iWellChain</i>	Taiwan	(LO et al., 2019)
<i>MedChain</i>	Estados Unidos	(DARAGHMI; DARAGHMI; YUAN, 2019)
<i>MediBchain</i>	Bangladesh	(OMAR et al., 2017)
<i>MediBloc</i>	Tailândia	(THWIN; VASUPONGAYYA, 2018)
<i>MedRec</i>	Estados Unidos	(AZARIA et al., 2016), (HYLA; PEJAS, 2019), (KAUR et al., 2018), (MERTZ, 2018), (NCHINDA et al., 2019) e (THWIN; VASUPONGAYYA, 2018)
<i>MeDShare</i>	China	(KAUR et al., 2018), (THWIN; VASUPONGAYYA, 2018) e (XIA et al., 2017)
<i>MedVault</i>	Irlanda	(THWIN; VASUPONGAYYA, 2018)
<i>mHealth</i>	Japão	(MOTOHASHI et al., 2019)
<i>OmniPHR</i>	Brasil	(HYLA; PEJAS, 2019), (ROEHRS; COSTA; RIGHI, 2017), (ROEHRS et al., 2019) e (THWIN; VASUPON-GAYYA, 2018)
<i>Patientory</i>	Estados Unidos	(MERTZ, 2018)
<i>Privysharing</i>	Austrália	(MAKHDOOM et al., 2020)
<i>ProvChain</i>	Estados Unidos	(KAUR et al., 2018)
<i>Shealth</i>	Omã	(ZGHAIBEH et al., 2020)

Ao todo, foram identificadas 20 aplicações distintas que fazem uso de *Blockchain* para compartilhamento de dados de pacientes. Entre elas, encontram-se aplicações em diversos estágios de maturidade; aplicações a serem implementadas, uma proposta de aplicação e também aplicações já em uso.

Pelos artigos analisados, pode-se identificar algumas aplicações de referência que têm sido utilizadas como modelos. Entre essas aplicações encontram-se: *MedRec* (AZARIA et al., 2016), *MeDShare* (XIA et al., 2017) e *OmniPHR* (ROEHRS; COSTA; RIGHI, 2017).

O *MedRec* propõe a criação de um registro único para cada evento de um paciente. Cada transação do *Blockchain* refere-se a uma autorização de acesso aos dados realizada por um paciente. Uma vez que liberada, a organização terá acesso ao dado autorizado. Assim, diversos sistemas da área de saúde teriam acesso aos dados. No *MedRec*, o paciente torna-se gestor de seus dados, concedendo e revogando acessos aos seus dados.

O *MeDShare* apresenta um modelo de compartilhamento de dados entre provedores de serviços em nuvem, que fazem uso de *Blockchain*. A aplicação adota o uso de contratos inteligentes e controle de acesso sobre os dados. Além disso, as entidades podem obter a proveniência e auditoria de dados enquanto compartilham dados com outras entidades.

O *OmniPHR* é um modelo para auxiliar um prontuário eletrônico distribuído, permitindo que os pacientes possam manter seus respectivos históricos de saúde de forma unificada, independentemente de onde os dados foram coletados, podendo ser acessado a partir de qualquer dispositivo em qualquer lugar. Além dos pacientes, a aplicação também traz benefícios para os profissionais de saúde, com a possibilidade de interconexão de dados de seus pacientes entre as instituições de saúde.

- *Plataformas de Blockchain utilizadas no compartilhamento de dados de pacientes (QP2)*

Entre as aplicações apresentadas nesta RS, as plataformas tecnológicas para uso de *Blockchain* foram identificadas e apresentadas no Quadro 3. Sua distribuição é apresentada na Figura 1, na qual 25% é baseado em *Ethereum*, 20% utiliza *Ethereum*, 20% utiliza *Hyperledger*, 20% utiliza *Hyperledger Fabric* e 15% utiliza uma plataforma própria.

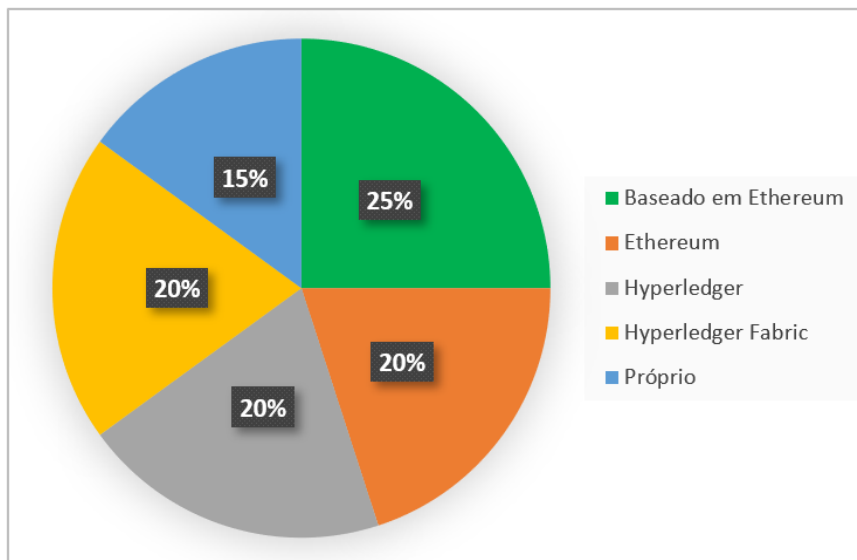
Quadro 3

Plataformas de Blockchain utilizadas

Plataforma	Baseado em <i>Ethereum</i>	<i>Ethereum</i>	<i>Hyperledger</i>	Hyperledger Fabric	Próprio
Aplicação	<i>MediBchain</i>	<i>FHIRChain</i>	<i>EMRShare</i>	<i>HealthChain</i>	<i>BlocHIE</i>
	<i>MediBloc</i>	<i>iWellChain</i>	<i>HealthChain</i>	<i>mHealth</i>	<i>CB-EHRs</i>
	<i>MeDShare</i>	<i>MedChain</i>	<i>MedVault</i>	<i>Privysharing</i>	<i>Healthcare Data Gateway</i>
	<i>OmniPHR</i>	<i>MedRec</i>	<i>Patientory</i>	<i>Shealth</i>	-
	<i>ProvChain</i>	-	-	-	-

Figura 1

Gráfico de distribuição de plataformas de Blockchain



Para se ter uma visão mais abrangente das plataformas de *Blockchain* utilizadas, foi realizada uma pesquisa complementar em três fontes de dados - (LEEWAYHERTZ, 2019; SHARMA, 2019; NOON, 2019).

Criado em 2014 por *Vitalk Buterin*, o *Ethereum* é uma plataforma para *Blockchain Permissionless* de código aberto que permite aplicações descentralizadas. Além disso, no *Ethereum* também existe a execução de contratos inteligentes - sem a necessidade de um intermediário entre as partes (LEEWAYHERTZ, 2019; SHARMA, 2019; NOON, 2019).

Apresentado pela Fundação Linux em 2016, o *Hyperledger Fabric* foi construído para *Blockchain Permissioned*. Em sua construção, o *Hyperledger Fabric* foi desenhado para utilizar uma abordagem modular, conectando componentes, como por exemplo um mecanismo de consenso (LEEWAYHERTZ, 2019; SHARMA, 2019; NOON, 2019).

Projetado inicialmente para o setor financeiro inicialmente, o *R3 Corda* foi criado em 2013 permite que transações sejam feitas utilizando contratos inteligentes. Assim como o *Hyperledger Fabric*, o *R3 Corda* também foi construído para *Blockchain Permissioned* e busca a facilidade de integração com sistemas legados (LEEWAYHERTZ, 2019; SHARMA, 2019; NOON, 2019).

O *Ripple* foi criado em 2012 e é semelhante ao *Ethereum*. Projetado para troca de ativos digitais, o *Ripple* permite pagamentos internacionais por meio de seu ativo digital. Para alcançar o consenso entre os nós da rede, a plataforma faz uso de votação probabilística. Assim como o *Hyperledger Fabric* e o *R3 Corda*, o *Quorum* também foi construído para *Blockchain Permissioned* (LEEWAYHERTZ, 2019; SHARMA, 2019; NOON, 2019).

Criado pelo JP Morgan, o *Quorum* pode ser compreendido como uma versão empresarial do *Ethereum*. A plataforma faz uso de algoritmos baseados em voto para executar centenas de transações por segundo. Semelhante ao *Hyperledger Fabric*, *R3 Corda* e o *Ripple*, o *Quorum* também foi construído para *Blockchain Permissioned* (LEEWAYHERTZ, 2019; SHARMA, 2019; NOON, 2019).

Com isso, entende-se que as principais plataformas de *Blockchain* são *Ethereum*, *Hyperledger*, *R3 Corda*, *Ripple*, *Quorum*.

- *Benefícios da adoção de Blockchain no compartilhamento de dados de pacientes (QP3)*

Os aspectos positivos do uso da tecnologia para o fim estudado são apresentados no Quadro 4.

Quadro 4

Benefício do uso de Blockchain para compartilhamento de dados de pacientes

Aspecto positivo	Autor
Atualização de dados em tempo real	(CHEN et al., 2018) e (ROEHRS; COSTA; RIGHI, 2017)
Ausência de terceiro intermediando o processo	(CHEN et al., 2018), (DIMITROV, 2019), (KAUR et al., 2018), (KUO; ROJAS; OHNO-MACHADO, 2019) e (ZHUANG et al., 2018)
Controle de dados pelo paciente	(CHEN et al., 2018), (CICHOSZ et al., 2018), (DIMITROV, 2019), (NCHINDA et al., 2019) e (THWIN; VASUPONGAYYA, 2018)
Facilita a adoção de novas tecnologias	(ALEXANDER et al., 2019)
Gerenciamento descentralizado	(HYLA; PEJAS, 2019), (JIANG et al., 2018), (KUO; KIM; OHNO-MACHADO, 2017), (KUO; ROJAS; OHNO-MACHADO, 2019), (SHAHNAZ; QAMAR; KHALID, 2019), (WANG; ZHANG; ZHANG, 2019), (WU; TSAI, 2018) e (XU et al., 2019)
Imutabilidade	(HYLA; PEJAS, 2019), (JIANG et al., 2018), (KAUR et al., 2018) e (TANWAR; PAREKH; EVANS, 2020)
Integridade	(CHEN et al., 2018), (DROSATOS; KALDOUDI, 2019), (KAUR et al., 2018), (PIRTLE; EHREN-FELD, 2018) e (ZHANG et al., 2018)
Melhoria na qualidade de atendimento	(ALEXANDER et al., 2019), (CHEN et al., 2018), (DIMITROV, 2019), (KAUR et al., 2018), (RO-EHRS; COSTA; RIGHI, 2017) e (SKIBA, 2017)
Melhoria na relação paciente/farmacêutico	(BOULOS; WILSON; CLAUSON, 2018) e (NCHINDA et al., 2019)
Otimização de custos	(ALEXANDER et al., 2019) e (CHEN et al., 2018)
Potencializa a pesquisa científica	(AZARIA et al., 2016), (CICHOSZ et al., 2018), (DROSATOS; KALDOUDI, 2019), (JIANG et al., 2018), (KAUR et al., 2018) e (KUO; KIM; OHNO-MACHADO, 2017)
Potencializa o compartilhamento de dados	(ALEXANDER et al., 2019), (ROEHRS et al., 2019), (XIA et al., 2017), (XIAO et al., 2018) e (ZHANG et al., 2018)
Proveniência de dados	(DIMITROV, 2019), (KAUR et al., 2018), (KUO; KIM; OHNO-MACHADO, 2017), (KUO; ROJAS; OHNO-MACHADO, 2019), (MOTOHASHI et al., 2019), (TANWAR; PAREKH; EVANS, 2020) e (XIA et al., 2017)

Recomendações para pacientes e médicos	(CHEN et al., 2018)
Registro único de dados para cada paciente	(DROSATOS; KALDOUDI, 2019) e (ROEHRS; COSTA; RIGHI, 2017)
Segurança	(CHEN et al., 2018), (CHEN et al., 2019), (DIMITROV, 2019), (ISMAIL; MATERWALA; ZEADALLY, 2019), (JIANG et al., 2018), (JIN et al., 2019), (KAUR et al., 2018), (KUO; KIM; OHNO-MACHADO, 2017), (LEE, 2019), (MAKHDOOM et al., 2020), (MOTOHASHI et al., 2019), (SHAHNAZ; QAMAR; KHALID, 2019), (XIA et al., 2017), (XU et al., 2019), (YAZDINEJAD et al., 2020), (ZGHAIBEH et al., 2020) e (ZUBAYDI et al., 2019)
Trilha de auditoria	(DIMITROV, 2019), (KUO; KIM; OHNO-MACHADO, 2017), (KUO; ROJAS; OHNO-MACHADO, 2019), (ISMAIL; MATERWALA; ZEADALLY, 2019), (MAKHDOOM et al., 2020) e (XIA et al., 2017)

Os aspectos positivos que fomentam a adoção de *Blockchain*, reforçam a aplicabilidade da tecnologia para o compartilhamento de dados de pacientes. Entre esses aspectos, nota-se melhorias na experiência vivenciada pelo paciente, e melhorias de segurança.

Uma das grandes vantagens do uso de *Blockchain* é o fato de não existir mais uma terceira entidade – seja ela uma organização ou pessoa – validando uma transação. Isso faz com que o compartilhamento de dados de pacientes possa ser realizado diretamente entre usuários, desde que a concessão seja realizada.

Além disso, o *Blockchain* também facilita a criação de um registro único para cada paciente, composto por dados de diversas instituições, facilitando a análise histórica, com evoluções médicas do paciente, permitindo a geração de recomendações para médicos/pacientes. Para que se tenha sucesso no compartilhamento de dados, condições como segurança, integridade e proveniência de dados são necessários. Em sua implementação, o *Blockchain* garante esses aspectos, além da trilha de auditoria e garantia de imutabilidade dos dados. Com isso, um dado, seja ele um exame, ou mesmo um prontuário médico, pode ser reutilizado por outra organização.

Para as organizações, o uso de *Blockchain* pode trazer melhorias em seus processos internos. Entre essas melhorias, encontra-se a melhoria na qualidade do serviço prestado, uma vez que a organização pode ter acesso a um histórico com mais informações do paciente.

Além disso, alguns exames já realizados por outros pacientes podem ser reaproveitados, sem a necessidade de realização de um novo procedimento, ou mesmo de impressão. Como um outro benefício do uso de *Blockchain*, a pesquisa científica pode ter acesso a uma base de dados maior. Na pesquisa científica da área da saúde, um grande volume e variedade de dados auxilia o trabalho de pesquisa realizado, por exemplo, na prevenção de doenças e estudos de vacinas.

- *Desafios de uso de Blockchain para compartilhamento de dados de pacientes (QP4)*

Os desafios do uso da tecnologia para o fim estudado são apresentados no Quadro 5. Em relação a desafios para o uso de *Blockchain* no compartilhamento de dados de pacientes, alguns aspectos devem ser considerados.

Quadro 5

Desafios do uso de Blockchain para compartilhamento de dados de pacientes

Desafio	Autor
Custos para uso da tecnologia	(CHEN et al., 2018), (KAUR et al., 2018), (MERTZ, 2018), (KUO; ROJAS; OHNO-MACHADO, 2019), (THWIN; VASUPONGAYYA, 2018) e (ZHUANG et al., 2018)
Desempenho	(GORDON; CATALINI, 2018), (KUO; KIM; OHNO-MACHADO, 2017) e (THWIN; VASUPON-GAYYA, 2018)
Gerenciamento de chaves digitais	(GORDON; CATALINI, 2018) e (ZHANG et al., 2018)
Integridade e autenticação	(ROEHRS; COSTA; RIGHI, 2017)
Receio de uso dos usuários	(MERTZ, 2018) e (ROEHRS; COSTA; RIGHI, 2017)
Restrições regulatórias	(MERTZ, 2018), (THWIN; VASUPONGAYYA, 2018) e (WU; TSAI, 2018)
Segurança	(HYLOCK; ZENG, 2019), (JIANG et al., 2018), (KUO; KIM; OHNO-MACHADO, 2017), (MERTZ, 2018), (ROEHRS; COSTA; RIGHI, 2017) e (THWIN; VASUPON-GAYYA, 2018)
Tecnologia em estágio de maturidade inicial	(WONG; YEE; NØHR, 2018), (DROSATOS; KAL-DOUDI, 2019) e (KAUR et al., 2018)

Devido ao processo de consenso para validação de uma transação, implementado no *Blockchain*, quando uma transação é inserida na cadeia, ocorre um processo de validação, realizado por algoritmos de consenso. Durante esse processo, a transação ainda está em validação e não foi registrada ainda no *Blockchain*, ou seja, não está disponível na cadeia, o que leva um certo tempo, a depender da configuração da cadeia.

Assim como apresentado nas implementações analisadas nos artigos coletados nesta RS, com o *Blockchain*, o paciente se torna “dono” dos seus dados. Um aspecto negativo é o gerenciamento de chaves digitais, pois apenas com a sua chave digital, um paciente poderá autorizar, ou mesmo revogar, o acesso a seus dados. Caso um paciente perca, ou mesmo esqueça essa chave, esse gerenciamento não poderá mais ser realizado.

Em relação a segurança, alguns autores ainda consideram o nível de sensibilidade dos dados muito grande (HYLOCK; ZENG, 2019), (JIANG et al., 2018), (KUO; KIM; OHNO-MACHADO, 2017), (MERTZ, 2018), (ROEHRS; COSTA; RIGHI, 2017) e (THWIN; VASUPON-GAYYA, 2018). Apesar do funcionamento do *Blockchain* ter propriedades específicas de integridade, segurança e proveniência de dados, a integração e autenticação das partes são aspectos cruciais na integração entre os sistemas.

Sabendo que o *Blockchain* é uma tecnologia emergente e que os dados em questão são dados médicos, com informações pessoais de cada paciente, um outro aspecto deve ser levado em consideração: o desconforto no compartilhamento de dados pessoais com organizações, devido ao nível de confidencialidade e pessoalidade desses dados. Esse desconforto ainda é um receio dos pacientes e pode ser um empecilho para a consolidação do uso de *Blockchain* para compartilhamento de dados de pacientes.

Por fim, aspectos como restrições regulatórias são de extrema importância, por serem mandatórias para as organizações. Conforme tem sido proposta por regulamentações de proteção de dados, as aplicações devem permitir que, a partir do momento em que um usuário desejar, seus dados sejam apagados de seus sistemas. Porém, no *Blockchain*, nenhum dado é apagado, para efeitos de auditoria. Ou seja, mesmo que esse dado não tenha mais valor, o mesmo ainda terá seu armazenamento mantido na cadeia. Por isso, as aplicações deverão projetar como gerenciar os dados dos pacientes, para atender as leis de proteção de dados.

CONCLUSÕES

Em uma análise geral, os aspectos positivos do uso de *Blockchain* para compartilhamento de dados de pacientes sobrepõem os desafios a serem enfrentados pela tecnologia nesse contexto. Assim como em sua implementação na área financeira, alguns aspectos tiveram que ser tratados, para que seu uso fosse realizado com sucesso.

Por se tratar de uma tecnologia nova, alguns aspectos como o custo de implementação ou mesmo o desempenho de uma cadeia com dados de centenas de hospitais e laboratórios ainda são desconhecidos. Porém, alguns desafios podem ser solucionados, como por exemplo, o gerenciamento de chaves digitais e autenticação.

Algumas aplicações e plataformas de *Blockchain* para o compartilhamento de dados de pacientes são conhecidas. Entre as aplicações *Blockchain* conhecidas, existem algumas aplicações que podem ser considerados modelos de referência de implementação, devido à sua maturidade. Essas aplicações mostram que a tecnologia pode fomentar o compartilhamento de dados na área da saúde, proporcionando uma mudança na gestão dos dados, fazendo com que os pacientes se tornem os reais donos de seus respectivos dados.

RECOMENDAÇÕES

Na área da saúde, o *Blockchain* pode ser aplicado em diversos usos da área da saúde. Entre eles, pode-se destacar o compartilhamento de dados de pacientes entre instituições, incluindo imagens e laudos de exames de pacientes e uso de receituário médico para aquisição de remédio em farmácias por pacientes de forma mais prática.

Além disso, outros possíveis usos, que não envolvem os pacientes como alvo central, também poderá ser explorado. O *Blockchain* pode ser aplicado em toda a jornada de cadeia de suprimentos farmacêuticos, além de possibilitar uma maior quantidade de dados ao hospital para aprimoramento do atendimento prestado pela instituição.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- A. Azaria, A. Ekblaw, T. Vieira, & A. Lippman (2016). MedRec: Using Blockchain for Medical Data Access and Permission Management. In 2016 2nd International Conference on Open and Big Data (OBD) (pp. 25–30). IEEE.
- Al Omar, A., Rahman, A., & Kiyomoto, S. (2017). MediBchain: A Blockchain Based Privacy Preserving Platform for Healthcare Data. In Security, Privacy, and Anonymity in Computation, Communication, and Storage (pp. 534–543). Springer International Publishing.
- Alexander, A., McGill, M., Tarasova, A., Ferreira, C., & Zurkiya, D. (2019). Scanning the Future of Medical Imaging. *Journal of the American College of Radiology*, 16(4), 501–507.
- Cardoso, B. (2018). Contratos inteligentes: descubra o que são e como funcionam. Disponível em: <https://jus.com.br/artigos/65596/contratos-inteligentes-descubra-o-que-sao-e-como-funcionam>. Acesso em: 22/10/2019.
- Chen, W., Mu, Y., Liang, X., & Gao, Y. (2019). Medical Data Sharing Model Based on Blockchain. *Journal of Physics: Conference Series*, 1267(1).
- Chen, Y., Ding, S., Xu, Z., Zheng, H., & Yang, S. (2018). Blockchain-Based Medical Records Secure Storage and Medical Service Framework. *Journal of Medical Systems*, 43(1), 5.
- Cichosz, S., Stausholm, T., & Vestergaard, O. (2018). How to Use Blockchain for Diabetes Health Care Data and Access Management: An Operational Concept. *Journal of Diabetes Science and Technology*, 13(2), 248–253.
- Cointimes. (2019). Análises e Notícias sobre Bitcoin e outras criptomoedas. Disponível em: <https://cointimes.com.br/>. Acesso em: 22/10/2019.
- Conceição, A., Rocha, V., & Paula, R. (2019). Aplicações de Blockchain em Saúde. In 19º Simpósio Brasileiro de Computação Aplicada à Saúde. Simpósio Brasileiro de Computação Aplicada à Saúde.
- Costa, R., Faustino, D., Lemos, G., Queiroga, A., Djohnnatha, C., Alves, F., Lira, J., & Pires, M. (2018). Uso Não Financeiro de Blockchain: Um Estudo de Caso Sobre o Registro, Autenticação e Preservação de Documentos Digitais Acadêmicos. In Anais do I Workshop em Blockchain: Teoria, Tecnologias e Aplicações. Porto Alegre: SBC.
- Department of Health, & Human Services (2015). Report on Health Information Blocking. The Office of the Nat. Coordinator for Health Information Technology. Disponível em: https://www.healthit.gov/sites/default/files/reports/info_blocking_040915.pdf. Acesso em: 22/10/2019.
- Dimitrov, D. (2019). Blockchain Applications for Healthcare Data Management. *Healthcare informatics research*, 25(1), 51–56.
- Diniz, E. (2017). Emerge uma nova tecnologia disruptiva. *GV Executivo*, 16(2), 46–50.

- Diniz, E., & Alégo, A. (2020). Blockchain, privacidade e monitoramento da Covid-19. Cointelegraph. Disponível em: <https://cointelegraph.com.br/news/covid-19-blockchain-privacy-and-monitoring>. Acesso em: 21/04/2020.
- Drosatos, G., & Kaldoudi, E. (2019). Blockchain Applications in the Biomedical Domain: A Scoping Review. *Computational and structural biotechnology journal*, 17, 229–240.
- Dubovitskaya, A., Xu, Z., Ryu, S., Schumacher, M., & Wang, F. (2017). Secure and trustable electronic medical records sharing using blockchain. In *AMIA Annual Symposium Proceedings* (pp. 650–659).
- E. Daraghmi, Y. Daraghmi, & S. Yuan (2019). MedChain: A Design of Blockchain-Based System for Medical Records Access and Permissions Management. *IEEE Access*, 7, 164595-164613.
- Gartner. (2019). Hype Cycle for Blockchain Business Shows Blockchain Will Have a Transformational Impact across Industries in Five to 10 Years. Disponível em: <https://www.gartner.com/en/newsroom/press-releases/2019-09-12-gartner-2019-hype-cycle-for-blockchain-business-shows>. Acesso em: 22/10/2019.
- Gordon, W., & Catalini, C. (2018). Blockchain Technology for Healthcare: Facilitating the Transition to Patient-Driven Interoperability. *Computational and Structural Biotechnology Journal*, 16, 224–230.
- Hyla, T., & Pejas, J. (2019). eHealth Integrity Model Based on Permissioned Blockchain. (Vol. 11) *Molecular Diversity Preservation International*.
- Hylock, R., & Zeng, X. (2019). A Blockchain Framework for Patient-Centered Health Records and Exchange (HealthChain): Evaluation and Proof-of-Concept Study. *Journal of Medical Internet Research*, 21 (8), e13592.
- Ismail, L., Materwala, H., & Zeadally, S. (2019). Lightweight Blockchain for Healthcare. *IEEE Access*, 7, 149935–149951.
- Jiang, S., Cao, J., Wu, H., Yang, Y., Ma, M., & He, J. (2018). BlochIE: A BLOCkchain-Based Platform for Healthcare Information Exchange. In *2018 IEEE International Conference on Smart Computing (SMARTCOMP)* (pp. 49–56). IEEE.
- Jin, H., Xu, C., Luo, Y., Li, P., Cao, Y., & Mathew, J. (2019). Toward Secure, Privacy-Preserving, and Interoperable Medical Data Sharing via Blockchain. In *2019 IEEE 25th International Conference on Parallel and Distributed Systems (ICPADS)* (pp. 852–861).
- Kamel Boulos, M., Wilson, J., & Clauson, K. (2018). Geospatial blockchain: promises, challenges, and scenarios in health and healthcare. *International Journal of Health Geographics*, 17(1), 25.
- Kaur, H., Alam, M., Jameel, R., Mourya, A., & Chang, V. (2018). A Proposed Solution and Future Direction for Blockchain-Based Heterogeneous Medicare Data in Cloud Environment. *Journal of Medical Systems*, 42(8), 156.
- Kitchenham, B. (2007). Guidelines for Performing Systematic Literature Reviews in Software Engineering. Disponível em:

https://www.elsevier.com/data/promis_misc/525444systematicreviewsguide.pdf. Acesso em: 21/03/2020.

Kombe, C., Sam, A., Ally, M., & Finne, A. (2019). Blockchain Technology in Sub-Saharan Africa: Where does it fit in Healthcare Systems: A case of Tanzania. *Journal of Health Informatics in Developing Countries*, 13 (2).

Kuo, T.T., Kim, H.E., & Ohno-Machado, L. (2017). Blockchain distributed ledger technologies for biomedical and health care applications. *Journal of the American Medical Informatics Association: JAMIA*, 24(6), 1211–1220.

Kuo, T.T., Rojas, H., & Ohno-Machado, L. (2019). Comparison of blockchain platforms: A systematic review and healthcare examples. *Journal of the American Medical Informatics Association: JAMIA*, 26, 462–478.

Le Nguyen, T. (2018). Blockchain in Healthcare: A New Technology Benefit for Both Patients and Doctors. In 2018 Portland International Conference on Management of Engineering and Technology (PICMET) (pp. 1–6).

Lee, S. (2019). Medical Data Framework Using Blockchain Technology. *International Journal of Advanced Trends in Computer Science and Engineering*, 8 (5), 2353–2358.

LeewayHertz. (2019). Top Blockchain Platforms of 2019. Disponível em: <https://www.leewayhertz.com/blockchain-platforms-for-top-blockchain-companies/>. Acesso em: 23/01/2020.

Lo, Y., Yang, C., Chien, H., Chang, S., Lu, C., & Chen, R. (2019). Blockchain-Enabled iWellChain Framework Integration With the National Medical Referral System: Development and Usability Study. *Journal of Medical Internet Research*, 21(12), e13563.

M. Weiss, A. Botha, M. Herselman, & G. Loots (2017). Blockchain as an enabler for public mHealth solutions in South Africa. In 2017 IST-Africa Week Conference (IST-Africa) (pp. 1–8). IEEE.

Makhdoom, I., Zhou, I., Abolhasan, M., Lipman, J., & Ni, W. (2020). PrivySharing: A blockchain-based framework for privacy-preserving and secure data sharing in smart cities. *Computers and Security*, 88, 101653.

Mandl, K., Szolovits, P., & Kohane, I. (2001). Public standards and patients' control: how to keep electronic medical records accessible but private. *BMJ*, 322 (7281), 283–287.

Mertz, L. (2018). (Block) Chain Reaction: A Blockchain Revolution Sweeps into Health Care, Offering the Possibility for a Much-Needed Data Solution. *IEEE Pulse*, 9 (3), 4–7.

Motohashi, T., Hirano, T., Okumura, K., Kashiya, M., Ichikawa, D., & Ueno, T. (2019). Secure and scalable mhealth data management using blockchain combined with client hashchain: System design and validation. *Journal of Medical Internet Research*, 21 (5), e13385.

Nakamoto, S. (2008). Bitcoin: A Peer-to-Peer Electronic Cash System. Disponível em: <https://bitcoin.org/bitcoin.pdf>. Acesso em: 12/08/2019.

- Nchinda, N., Cameron, A., & Retzepi, A. (2019). MedRec: A Network for Personal Information Distribution. In 2019 International Conference on Computing, Networking and Communications (ICNC) (pp. 637–641). IEEE.
- Noon, H. (2019). Top Blockchain Platforms to watch out in 2019. Disponível em: <https://hackernoon.com/top-blockchain-platforms-to-watch-out-in-2019-aa80e336a426>. Acesso em: 23/01/2020.
- Pirtle, C., & Ehrenfeld, J. (2018). Blockchain for Healthcare: The Next Generation of Medical Records? *Journal of Medical Systems*, 42 (9), 172.
- Roehrs, A., & Costa, R. (2017). OmniPHR: A distributed architecture model to integrate personal health records. *Journal of Biomedical Informatics*, 71, 70–81.
- Roehrs, A., Costa, R., Silva, V., Goldim, J., & Schmidt, D. (2019). Analyzing the performance of a blockchain-based personal health record implementation. *Journal of Biomedical Informatics*, 92, 103140.
- Shahnaz, A., Qamar, U., & Khalid, A. (2019). Using Blockchain for Electronic Health Records. *IEEE Access*, 7, 147782–147795.
- Sharma, T. K. (2019). Top 10 Blockchain Platforms you need to know about. Disponível em: <https://www.blockchain-council.org/blockchain/top-10-blockchain-platforms-you-need-to-know-about/>. Acesso em: 23/01/2020.
- Skiba, D. (2017). The Potential of Blockchain in Education and Health Care. *Nursing Education Perspectives*, 38(4).
- Tanwar, S., Parekh, K., & Evans, R. (2020). Blockchain-based electronic healthcare record system for healthcare 4.0 applications. *Journal of Information Security and Applications*, 50.
- Tapscott, A., & Tapscott, D. (2017). How Blockchain Is Changing Finance. Disponível em: <https://hbr.org/2017/03/how-blockchain-is-changing-finance>. Acesso em: 23/01/2020.
- The Economist. (2015). The great chain of being sure about things. Disponível em: <https://www.economist.com/briefing/2015/10/31/the-great-chain-of-being-sure-about-things>. Acesso em: 22/10/2019.
- Thwin, T., & Vasupongayya, S. (2018). Blockchain Based Secret-Data Sharing Model for Personal Health Record System. In 2018 5th International Conference on Advanced Informatics: Concept Theory and Applications (ICAICTA) (pp. 196–201). IEEE.
- Vazirani, A., O'Donoghue, D., & Meinert, E. (2019). Implementing Blockchains for Efficient Health Care: Systematic Review. *Journal of medical Internet research*, 21 (2), e12439.
- Wang, S., Zhang, D., & Zhang, Y. (2019). Blockchain-Based Personal Health Records Sharing Scheme With Data Integrity Verifiable. *IEEE Access*, 7, 102887–102901.
- Wong, M., Yee, K., & Nøhr, C. (2018). Building Continents of Knowledge in Oceans of Data: The Future of Co-Created eHealth. (Vol. 247) IOS Press.

- Wu, H., & Tsai, C. (2018). Toward Blockchains for Health-Care Systems: Applying the Bilinear Pairing Technology to Ensure Privacy Protection and Accuracy in Data Sharing. *IEEE Consumer Electronics Magazine*, 7(4), 65–71.
- Xia, Q., Sifah, E., Asamoah, J., Du, X., & Guizani, M. (2017). MeDShare: Trust-Less Medical Data Sharing Among Cloud Service Providers via Blockchain. *IEEE Access*, 5, 14757–14767.
- Xiao, Z., Li, Z., Liu, Y., Feng, L., Zhang, W., Lertwuthikarn, T., & Goh, R. (2018). EMRShare: A Cross-Organizational Medical Data Sharing and Management Framework Using Permissioned Blockchain. In *2018 IEEE 24th International Conference on Parallel and Distributed Systems (ICPADS)* (pp. 998–1003).
- Xu, J., Xue, K., Li, S., Tian, H., Hong, J., Hong, P., & Yu, N. (2019). Healthchain: A Blockchain-Based Privacy Preserving Scheme for Large-Scale Health Data. *IEEE Internet of Things Journal*, 6(5), 8770–8781.
- Xu, L., Bagula, A., Isafiade, O., Ma, K., & Chiwewe, T. (2019). Design of a Credible Blockchain-Based E-Health Records (CB-EHRS) Platform. In *2019 ITU Kaleidoscope: ICT for Health: Networks, Standards and Innovation (ITU K)* (pp. 1–8).
- Yaga, D., Mell, P., & Roby, K. (2018). Blockchain technology overview. Disponível em: <https://nvlpubs.nist.gov/nistpubs/ir/2018/NIST.IR.8202.pdf>. Acesso em: 23/01/2020.
- Yazdinejad, A., Srivastava, G., Parizi, R., Dehghantanha, A., Choo, K.K., & Aledhari, M. (2020). Decentralized Authentication of Distributed Patients in Hospital Networks using Blockchain. *IEEE Journal of Biomedical and Health Informatics*, 1–1.
- Zghaibeh, M., Farooq, U., Ul Hasan, N., & Baig, I. (2020). SHealth: A Blockchain-based Health System with Smart Contracts Capabilities. *IEEE Access*, PP, 1–1.
- Zhang, P., White, J., Schmidt, D., Lenz, G., & Rosenbloom, S. (2018). FHIRChain: Applying Blockchain to Securely and Scalably Share Clinical Data. *Computational and Structural Biotechnology Journal*, 16, 267–278.
- Zhuang, Y., Sheets, L., Shae, J., & Shyu, C.R. (2018). Applying Blockchain Technology for Health Information Exchange and Persistent Monitoring for Clinical Trials. *AMIA. Annual Symposium proceedings. AMIA Symposium, 2018*, 1167–1175.
- Zubaydi, H., Chong, Y.W., Ko, K., Hanshi, S., & Karuppayah, S. (2019). A Review on the Role of Blockchain Technology in the Healthcare Domain. *Electronics (Switzerland)*, 8(6), 1–1.