

Ranqueamento dos requisitos operacionais de sistemas de gestão de saúde baseados em Blockchain visando a seleção de algoritmos de consenso

Operational requirement ranking for consensus algorithm selection in Blockchain health management systems

De Almeida, Suenia C. V. C.
Universidade de Brasília, Faculdade
de Tecnologia, Departamento de
Engenharia Elétrica,
Brazil
suenia.c@hotmail.com

Rodrigues, Carlo K. da Silva
Universidade Federal do ABC
(UFABC), Centro de Matemática,
Computação e Cognição,
Brazil
carlo.kleber@ufabc.edu.br

Giozza, William F.
Universidade de Brasília, Faculdade
de Tecnologia, Departamento de
Engenharia Elétrica,
Brazil
giozza@unb.br

Resumo - Este trabalho propõe aplicar o método AHP (Analytical Hierarchical Process) para ranqueamento dos requisitos operacionais de sistemas de gestão de saúde baseados em Blockchain visando a seleção de algoritmos de consenso suportada pelo método Online System (AHP OS). O critério Eficiência mostrou-se o mais relevante dentre os critérios avaliados pelos tomadores de decisão com base no ranqueamento estabelecido pelo método AHP. A partir das análises realizadas foi possível validar a aplicação do método proposto para viabilizar a seleção dos algoritmos de consenso apropriados à Blockchain no contexto da saúde.

Palavras Chave - Blockchain; Gestão de saúde; Estrutura Hierárquica de Processo; Algoritmo de consenso.

Abstract – *The objective of this work is to apply the Analytical Hierarchical Process (AHP) method with support from the Online System (AHP OS) method for operational requirements ranking for consensus algorithm in Blockchain- health management systems. The Efficiency criterion was the most relevant among the criteria evaluated by decision makers based on the ranking established by the AHP method. From the analyses performed it was possible to validate the application of the proposed method to enable the selection of consensus algorithms appropriate to Blockchain in the context of health.*

Keywords - *Blockchain; Health Systems; Hierarchical Process Analysis; Consensus Algorithms.*

I. INTRODUÇÃO

A tecnologia *Blockchain* é uma tecnologia de registro distribuído (*Distributed Ledger Technology* - DLT) que possui propriedades únicas, como segurança, adaptabilidade (imutabilidade, disponibilidade e integridade) e transparência [1]. *Blockchain* tem sido aplicada em várias áreas, em particular em

sistemas de gestão de saúde, como os prontuários eletrônicos ou registros de saúde eletrônicos (*Electronic Health Record* - EHR).

O uso da *Blockchain* no contexto de sistemas de gestão de saúde precisa considerar os requisitos mínimos para garantir a privacidade e a segurança, manter um custo operacional aceitável e possibilitar o uso de contratos inteligentes [2]

A construção da confiança de um sistema de gestão baseado em *Blockchain* se dá pela seleção do modelo decisório [3], estabelecido pelo protocolo de consenso adotado, que considera a gestão dos dados e as permissões da rede de distribuição [4].

Este trabalho visa aplicar o método da Estrutura Analítica de Processo - AHP [5] com o apoio da ferramenta *Business Performance Management Singapura* - AHP Online System - AHP OS [6] para auxiliar o processo de tomada de decisão para seleção de algoritmos de consenso, de forma consensuada. O estudo foi realizado considerando os protocolos de consenso baseados em votação, em que a validação dos blocos a serem adicionados ocorre com a participação ativa dos nós da rede no ato do consenso [7].

O trabalho está estruturado da seguinte forma. A Seção II apresenta os trabalhos correlatos e a fundamentação teórica para a identificação dos critérios e subcritérios de análise e a aplicação do método de análise para apoio a tomada de decisão. A Seção III apresenta a metodologia e suas ferramentas de apoio. A Seção IV apresenta a implementação do método proposto com apoio da ferramenta AHP OS. Na Seção V são apresentadas as análises da aplicação do método e da validação da proposta. As conclusões e os direcionamentos futuros são apresentados na Seção VI.

II. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

A evolução dos critérios de análise dos algoritmos de consenso no domínio dos sistemas de gestão da saúde é evidenciada

pela crescente adoção de tecnologias emergentes [8] e [9] contribuindo para implementação de aplicações *Blockchain*.

Uma revisão bibliográfica é apresentada em [10] para analisar e comparar o modelo de gerenciamento de dados dos sistemas de saúde baseados na *Blockchain* e na arquitetura cliente/servidor. Como resultados são apresentados os critérios tempo de execução e taxa de transferência, com o enfoque em sete requisitos: dados de registros médicos, acesso a dados em tempo real, participação do paciente, compartilhamento de dados, segurança de dados, privacidade da identidade do paciente e insights públicos. Entretanto, este trabalho apresenta lacunas quanto a avaliação dos requisitos de privacidade e segurança.

Um estudo conceitual e uma modelagem analítica em sistemas de filas foi apresentado em [11] para propor uma plataforma *Blockchain* no gerenciamento dos prontuários eletrônicos do SUS (Sistema Único de Saúde). O resultado deste trabalho é o fornecimento de subsídios teóricos e experimentos que possam sustentar e orientar o desenvolvimento de projetos baseados na *Blockchain*, com foco nos requisitos de eficiência, segurança e escalabilidade, além de um custo financeiro aceitável.

Um *framework* para gestão da saúde, focado em segurança, escalabilidade e tempo de processamento, com suporte ao monitoramento remoto de pacientes, denominado *BlockMedCare* é proposto em [12]. O objetivo desse trabalho foi resolver o problema da escalabilidade, utilizando um banco de dados baseado no sistema IPFS (*InterPlanetary File System*) e no protocolo de consenso PoA (*Proof of Authority*). A utilização do algoritmo PoA possibilitou acelerar o consenso entre os nós da rede e o armazenamento de dados, sem adoção de grandes recursos computacionais.

Diversos estudos discorrem sobre as propriedades dos algoritmos de consenso e as possibilidades de emprego em sistemas baseados em *Blockchain*, como [13] e [14].

Neste trabalho três algoritmos de consenso do tipo votação aplicados à *Blockchain* privada foram selecionados para identificação das principais características dos algoritmos de consenso aplicados aos sistemas de gestão de saúde que necessitam controle e validação dos dados por um grupo específico:

A. *Practical Byzantine Fault Tolerance (PBFT)*

O protocolo de consenso PBFT (*Practical Byzantine Fault Tolerance*) [14] é um algoritmo onde os nós integrantes do consenso participam de uma votação para adição de um novo bloco na *Blockchain*, caracterizada pelo aceite de no mínimo dois terços do número total de nós participantes, sendo o terço restante o correspondente à tolerância às falhas por nós maliciosos. O consenso é estabelecido em três etapas (*pre-prepare*, *prepare* e *commit*). Suas limitações são a escalabilidade e a segurança na finalização das requisições.

B. *Delegated Byzantine Fault Tolerance (dBFT)*

O mecanismo de consenso dBFT (*Delegated Byzantine Fault Tolerance*) [14] é semelhante ao PBFT, diferindo apenas pela participação do nó na adição do bloco, não sendo necessária a aprovação por mínimo dois terços do número total de nós participantes. Por ter poucos nós selecionados como delegados e responsáveis pelo alcance do consenso, é mais escalável. O consenso é estabelecido de forma rotativa. Entretanto, o dBFT apresenta uma falha de segurança, manifestada na possibilidade de um nó malicioso criar mais de um estado para o mesmo bloco [15].

C. *Federated Byzantine Agreement (FBA) – FBA*

O protocolo de consenso FBA (*Federated Byzantine Agreement*) [16] tem um *pool* de validadores autorizados no qual cada validador determina seu próprio conjunto de nós de confiança para o consenso. Não há autoridade central para pedir permissão, o sistema é baseado na confiança de outros que já são confiáveis. Dois exemplos de implementação de FBA são os protocolos *Ripple* e *Stellar* [17].

A partir das características mapeadas nos algoritmos de consenso do tipo votação relacionados, considerando a necessidade de controle dos participantes da rede e a taxa de transferência de dados dos sistemas de gestão de saúde baseados em plataformas *Blockchain* privadas, os seguintes requisitos operacionais foram identificados para estabelecimento dos critérios de análise:

- Escalabilidade: representa a capacidade de entrega de um sistema mesmo havendo variabilidades como o aumento do volume de tráfego na rede e do tamanho da base de dados em operação pela *Blockchain* [18].
- Disponibilidade: viabiliza a garantia de acesso aos dados a qualquer momento, oferecendo ao sistema a continuidade de seus serviços habilitando respostas tempestivas àqueles que podem acessá-los [19].
- Confidencialidade: representa a preocupação existente nos sistemas de gestão de saúde, do ponto de vista regulatório e dos constantes ataques cibernéticos, dentre eles, o *ransomware*, [20], [19], [21] e [22], faz relação direta à privacidade, por considerá-la como garantia de proteção contra acesso indevido às informações
- Integridade: representa a impossibilidade de alteração dos dados por parte de indivíduos não autorizados, para evitar prejuízo pela danificação desse ativo [22]. Diversas técnicas podem ser empregadas para mitigação desse problema, com destaque para o versionamento e a redundância das informações, por meio de *backups* [16].
- Eficiência: representa o nível de comprometimento de uma transação no registro da *Blockchain*, incluindo o processo de finalização, podendo ser do tipo probabilístico ou determinístico [23] e [18].

Uma revisão da literatura, apresentada em [24], aborda o processo de tomada de decisão nos sistemas de gestão de saúde, agrupando os resultados em definições e contexto do processo decisório; critérios e desafios do processo; modelos de tomada de decisão; e sistemas de informação e sistemas de informação para apoiar o processo de tomada de decisão.

O *framework* proposto em [25] apresenta uma estrutura para seleção dos protocolos de consenso mais adequados, a partir da análise de critérios, prioridades e outros requisitos, aplicando técnicas de Tomada de Decisão Multicritérios (MCDM). Como resultado, demonstra-se nesse trabalho que o método multicritério pode ser um instrumento eficaz de avaliação na concepção de sistemas baseados em plataformas *Blockchain*, a partir das preferências e requisitos de cada algoritmo.

Uma adaptação do método de tomada de decisão AHP (*Analytical Hierarchical Process*), proposta em [6], incorpora a entropia de *Shannon*, para auxiliar o tomador de decisão na determinação de uma ordem preferencial estabelecida entre as opções disponíveis, de forma agregada. Uma ferramenta *online* AHP OS foi implementada para facilitar o tratamento de problemas

complexos em processos decisórios de negócio, de forma consensual, sendo aplicável a qualquer contexto.

A Tabela I apresenta um resumo dos trabalhos analisados com base nas especificações técnicas das arquiteturas dos sistemas de gestão de saúde, sendo possível selecionar os requisitos operacionais para priorizar e ranquear aqueles que possam viabilizar a seleção dos algoritmos de consenso adequados. No entanto, deve-se observar as lacunas relacionadas ao processo decisório na implementação da tecnologia *Blockchain*. A ausência de um ferramental para apoio à tomada de decisão pode representar um diferencial na implementação dessa tecnologia no contexto da saúde.

TABELA I - RESUMO DA REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Referência	Requisitos avaliados	MCD A	Escopo da Pesquisa	Tipo de Consenso Aplicação
(Ismail, et.al 2020)	Eficiência, Disponibilidade, Confidencialidade, Integridade, Escalabilidade	-	<i>Blockchain</i> Sistemas de Saúde	votação, aplicado a um sistema de saúde específico
(Rodrigues, 2021)	Eficiência, Segurança, Escalabilidade	-	<i>Blockchain</i> Sistema de Saúde	votação, aplicado aos prontuários eletrônicos de saúde do SUS
(Azbeg, 2022)	Segurança, Escalabilidade e Eficácia	-	<i>Blockchain</i> Sistema de Saúde	Do tipo votação, aplicado ao sistema <i>BlockMedCare</i>
(Flexa, 2018)	Disponibilidade, Confidencialidade, Integridade e Escalabilidade	x	Sistema de Saúde Método Multicritério	Não definido devido ao foco no processo decisório
(Filatovas, et al., 2022)	Segurança, Escalabilidade e Eficiência	x	<i>Blockchain</i> , Sistema e Método Multicritério	Não definido, aplicado ao modelo de locação de bicicleta
(Goepel, 2018)	-	x	Método multicritério	Não definido, devido ao foco no processo decisório consensual

III. METODOLOGIA

A metodologia MCDA (*Multi-Criteria Decision Analysis*) auxilia a escolha dos decisores por meio de um processo que determina a melhor ordem entre as opções disponíveis [26].

1) Método Decisório Multicritério

O método AHP é uma abordagem de MCDA que estrutura um problema complexo considerando a hierarquia entre fatores relevantes, estruturados a partir do objetivo do problema proposto para os critérios, subcritérios e alternativas relacionados [18].

A depender da quantidade de critérios e subcritérios adotados, as possíveis alternativas ou a alternativa ótima, pode-se exigir um

o esforço operacional maior para manter a consistência dos julgamentos realizados.

O método proposto utiliza o ajuste linear proposto em [27] para calcular a razão de consistência (CR), por ser utilizado em matrizes maiores que 10 x 10., estabelecendo o valor máximo de todos os CRs calculados para os pesos globais.

Os valores obtidos para a razão de consistência (CR) devem ser inferiores a 0,1000 (10%), para serem considerados aceitáveis, segundo a escala de distribuição qualitativa do indicador de consenso AHP mostrada na Tabela II. Essa escala deve ser revisada para obtenção da melhor alternativa, sempre que possível.

1) Método AHP com suporte ferramental

O método AHP envolve muitos cálculos para obtenção do consenso dos julgadores, e o grau de dificuldade aumenta quando contabilizados diversos pares de julgadores. Para simplificar, pode-se aplicar o método AHP a partir do uso da ferramenta *BPMSG's AHP Online System* (AHP OS) conforme [6].

A ferramenta AHP OS, disponível de forma *online*, com acesso livre, permite calcular um índice de homogeneidade relativa denominado indicador de consenso AHP (S_{AHP}), baseado na metodologia AHP e incluindo a entropia de *Shannon*. O indicador S_{AHP} quantifica o consenso do grupo tomador de decisão (DM), estabelecendo uma estimativa do acordo consensuado sobre as prioridades dos participantes envolvidos no processo decisório.

O indicador de consenso S_{AHP} serve, portanto, para agrupar os grupos de tomadores de decisão em subgrupos de alto consenso, além de prover uma visão mais profunda do processo de julgamento e decisão. O cálculo do indicador de consenso S_{AHP} é obtido pela AHP OS usando a seguinte fórmula:

$$S_{AHP} = 1/D_{\beta} - c/1 - c \quad \dots (1)$$

$$c = \exp(H_{\alpha, \min})/n \quad (2)$$

onde o processo de hierarquia analítica (AHP) [18] considera a entropia mínima alfa $H(\alpha, \min)$ e a entropia máxima gama $H(\gamma, \max)$ como funções da escala máxima de valor m ($m = 9$ para a escala fundamental AHP) e o número de critérios n [6], conforme segue:

$$H(\alpha, \min) = -\left(\frac{m}{n+m-1}\right) \ln\left(\frac{m}{n+m-1}\right) - \left(\frac{n-1}{n+m-1}\right) \ln\left(\frac{1}{n+m-1}\right) \quad (3)$$

$$H(\gamma, \max) = \ln(n). \quad (4)$$

O índice relativo de homogeneidade S , baseado na reciprocidade da diversidade beta M proposta por [28], varia de 0 a 1:

$$M = \frac{1}{D_{\beta}} = \frac{D_{\alpha}}{D_{\gamma}} \quad (5)$$

$$S = 1/D_{\beta} - \frac{1}{n}/1 - \frac{1}{n} \quad (6)$$

onde, $D_{\alpha, \min} = 1$ e $D_{\gamma, \max} = n$.

Esta medida de concordância entre os decisores é o que caracteriza a utilização da entropia *Shannon* H dividida em dois componentes independentes D_{β} que representa a diversidade beta e D_{α} que representa a diversidade alfa [28], conforme fórmulas:

$$D_{\beta} = D_{\gamma}/D_{\alpha} \quad (7)$$

$$D_{\alpha} = \exp(H_{\alpha}) \quad (8)$$

A entropia *Shannon* H considerando os dois componentes independentes pode ser obtida por:

$$H_{\beta} = H_{\gamma} - H_{\alpha} \quad (9)$$

onde a entropia *Shannon* α é expressa por:

$$H_{\alpha} = \frac{1}{k} \sum_{j=1}^k \sum_{i=1}^k -w_{ij} \ln w_{ij}, \quad (10)$$

onde os participantes são definidos pela variável $j = 1 \dots k$ e as categorias por $i = 1 \dots n$.

e a entropia *Shannon* γ é determinada por:

$$H_y = \sum_{i=1}^n -w_{i,avg} \ln(w_{i,avg}) \quad (11)$$

$$\text{onde } w_{i,avg} = \frac{1}{k} \sum_{j=1}^k w_{ij} \quad (12)$$

sendo os participantes definidos por $j = 1 \dots k$ e as categorias por $i = 1 \dots n$.

Por fim, a escala de distribuição padrão qualitativa do consenso S_{AHP} pode ser verificada na Tabela II, com atribuição de um valor médio de 64 %, com ± 3 % de concordância na priorização dos tomadores de decisão. Nota-se que para que haja consenso, este indicador deve permanecer com valores entre 28 % e 99 %, com 99,5% de probabilidade.

Dessa forma, a divisão da faixa da escala de priorização deve ser disposta em quatro segmentos iguais de 50 % a 100 % (indo de 'baixo' a 'muito alto') sendo considerado para os valores abaixo de 50 % o consenso 'muito baixo', conforme disposto na Tabela II.

Para os valores acima de 87,5% deve-se avaliar as sobreposições de prioridades ou a máxima concordância dos julgamentos pelos tomadores de decisão.

TABELA II - ESCALA DE DISTRIBUIÇÃO QUALITATIVA DO INDICADOR DE CONSENSO AHP (S_{AHP})

Consenso S_{AHP}	< 0,5	0,5 – 0,625	0,625 – 0,75	0,75 – 0,87,5	> 0,875
Escala de Priorização	Muito baixo	Baixo	Moderado	Alto	Muito alto

2) Os Clusters de Análise

A ferramenta AHP OS dispõe, com base S_{AHP} , da capacidade de agrupar os tomadores de decisão em subgrupos com maior consenso, considerando os julgamentos individuais. Um índice relativo de homogeneidade S é estabelecido e representado por uma matriz de similaridade baseada na quantidade de *clusters* existentes.

O índice relativo de homogeneidade S (resp. S_{AHP}) é utilizado como indicador de consenso para obtenção do resultado do agrupamento dos tomadores de decisão, de forma clusterizada, limitado entre as faixas 70% e 97,5%, distribuído em etapas de 2,5%.

Um índice relativo de homogeneidade igual a zero significa que todos os tomadores de decisão estabeleceram prioridades completamente distintas, enquanto que, o valor unitário, demonstra a unicidade nos julgamentos realizados. Para obter uma tomada de decisão mais consensual, considerando os julgamentos individuais no resultado dos agrupamentos identificados na clusterização, faz-se necessário adequar o indicador de consenso S_{AHP} à homogeneidade relativa S , deslocando o valor médio de 64 % definido pela distribuição da escala de *Saaty* para 70 %, onde aplica-se a função de valor máximo $H_{\alpha,min}$ limitada a escala AHP de 1 a 9, conforme mostrado na Tabela III.

TABELA III - ANÁLISE COMPARATIVA ADAPTAÇÃO SAATY 1990

Função $H_{\alpha,min}$	1	3	5	7	9
Escala de Priorização	Mesma importância	Importância baixa de uma sobre a outra	Importância alta ou essencial	Alta relevância ou demonstrada	Importância Absoluta

Após realizar os cálculos dos índices com a ferramenta AHP OS, este trabalho se deveu na aplicação do método proposto realizado em três etapas:

1. Levantamento dos critérios e alternativas para elaboração da estrutura hierárquica decisória para solução do problema da

seleção ótima dos algoritmos de consenso para o contexto da saúde.

2. Adoção dos critérios de priorização e ranqueamento dos critérios com apoio da ferramenta AHP OS, para interpretação dos dados e apoio à tomada de decisão de forma consensual.
3. Identificação de *clusters* existentes, considerando o índice relativo de homogeneidade S , com base no indicador de consenso.

IV. APLICAÇÃO DO MÉTODO PROPOSTO

Esta seção descreve a aplicação do método de decisão multicritério AHP com apoio da ferramenta de suporte *BPMSG's AHP Online System*, detalhando suas funcionalidades e componentes principais, como a configuração da hierarquia de decisão do problema, as priorizações, incertezas e ordenamentos, a razão de consenso dos tomadores de decisão, a matriz decisória e resultados globais de todos os participantes da rede, considerando os julgamentos individuais para posterior clusterização.

A. Configuração do experimento

Este trabalho baseia-se na utilização do método AHP com uso da ferramenta de suporte AHP OS, em razão das propriedades matemáticas do método e de sua facilidade de implementação pelos tomadores de decisão na saúde, propiciando a qualificação dos resultados apresentados explicitado abaixo.

O primeiro passo do experimento é a estruturação do problema para priorização dos critérios e subcritérios identificados na Seção II.

A seleção de trabalhos elencados na Tabela I utilizou as bases de dados do *Google* e do *Web of Science*, a partir da utilização dos termos “*Blockchain*” e “*Sistemas de Saúde*”, permitindo o mapeamento de diversos estudos dessa temática, destacando três mecanismos de controle da classe bizantina, PBFT, dBFT e FBA, do tipo votação, para identificação dos requisitos operacionais dos sistemas de gestão de saúde aplicados às plataformas *Blockchain* privadas [29].

A análise dos três algoritmos resultou em uma lista de três critérios e seus respectivos subcritérios, sendo eles: a Escalabilidade com Volume de dados de rede, Tamanho de base dados, a Segurança com Grau de disponibilidade, Grau de integridade e Grau de confidencialidade e a Eficiência com Criação do Bloco/Latência, Tempo de verificação do Bloco, Tamanho do Bloco sendo aplicado a distribuição de pesos igualitários para submissão dos julgamentos pelos tomadores de decisão.

Ainda na fase de configuração, 8 (oito) especialistas em TIC (Tecnologia da Informação e Comunicação) foram convidados a participar do experimento como tomadores de decisão, sendo um requisito da ferramenta *online*, o quantitativo mínimo de 4 (quatro) participantes, para estabelecimento das prioridades e ranqueamento das escolhas por pares.

Neste trabalho, a escolha dos especialistas convidados adotou dois critérios objetivos, o primeiro relacionado à gestão e o segundo relacionado ao conhecimento em tecnologias, envolvendo gestores especialistas e não especialistas em plataformas *Blockchain*.

V. ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

A aplicação do método multicritério AHP OS para ranqueamento dos requisitos operacionais dos sistemas de saúde baseados em *Blockchain* privada envolveu 2 níveis hierárquicos e 9 alternativas mapeadas, considerando os 3 (três) critérios e os 9 (nove) subcritérios analisados pelos 8 (oito) especialistas em TIC participantes, apresentando a matriz de preferência dos critérios já normalizada e consensual, mostrada na Tabela IV.

Os valores em destaque na matriz de preferência (Tabela IV) representam o valor do julgamento dos critérios pelo grupo decisor, as priorizações e o ranqueamento estabelecido para os parâmetros adotados.

Nota-se que o critério Eficiência foi considerado pelos especialistas o mais prioritário, com percentual de 42,8% de escolha pelos tomadores de decisão. O segundo critério mais relevante foi a Segurança apresentando 36,2% de priorização, enquanto que a Escalabilidade foi considerada a menos prioritária com 21% de priorização.

TABELA IV – HIERARQUIA DE DECISÃO DOS ALGORITMOS DE CONSENSO BASEADOS EM BLOCKCHAIN PRIVADAS

Nível 0	Nível 1 (Critérios)	Peso	Nível 2 (Subcritérios)	Peso	Prioridade Global/Rank
Seleção de Algoritmos de Consenso adequados ao contexto de saúde	Escalabilidade - 1	0,210	Volume de dados da rede	0,723	15,2%
			Tamanho da base de dados	0,277	5,8%
	Segurança - 2	0,362	Grau de disponibilidade	0,419	15,2%
			Grau de integridade	0,299	10,8%
			Grau de confidencialidade	0,282	10,2%
	Eficiência - 3	0,428	Transações por segundo (TPS)	0,150	6,4%
			Criação do Bloco/Latência	0,269	11,5%
			Tempo de verificação do Bloco	0,419	17,9%
			Tamanho do Bloco	0,161	6,9%
			CR - Razão de consistência das análises realizadas pelos tomadores de decisão		

No agrupamento global dos julgamentos realizados, o indicador de consenso S_{AHP} apresentou 69,5% de consistência, indicando um alinhamento moderado das análises realizadas, que podem ser observadas na Fig. 1.

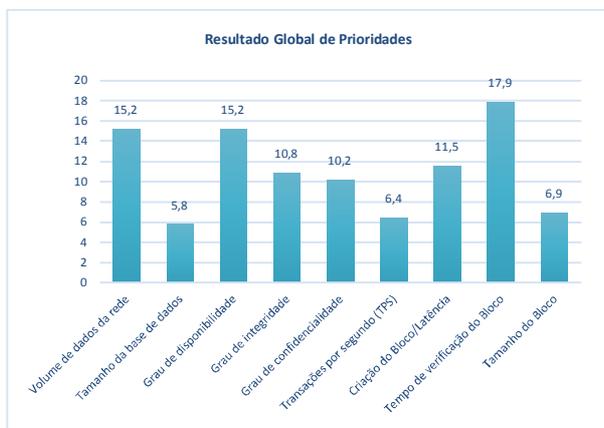


Figura 1 – Resultado Global de Prioridades do Grupo Decisorio

O índice relativo de homogeneidade S (resp. S_{AHP}) foi de 76,1%, indicando um alto índice de consenso na concordância de prioridades estabelecidas pelos tomadores de decisão, limitado entre as faixas 70% e 97,5%, distribuído em etapas de 2,5%.

Por fim, o resultado das priorizações individuais realizada pelos 8 especialistas, considerando a consistência dos julgamentos individuais realizados, apresentou uma consistência aceitável e moderada, com CR 0,2%, conforme mostrado na Tabela V.

TABELA V - RESULTADO DAS PRIORIDADES APLICADAS PELO GRUPO E INDIVIDUALIZADAS

Participante	Escalabilidade	Segurança	Eficiência	CRmax
Resultado do Grupo	21%	36,2%	42,8%	0,2%
Especialista 1	26%	41,3%	32,7%	5,6%
Especialista 2	21%	24%	55%	1,9%
Especialista 3	16,3%	10,9%	72,9%	9%
Especialista 4	16,9%	38,7%	44,3%	1,9%
Especialista 5	18,7%	9,8%	71,5%	0,2%
Especialista 6	20%	40,2%	40%	0%
Especialista 7	6,9%	68,1%	25%	1%
Especialista 8	25%	68,1%	6,9%	1%

De forma complementar, o referido estudo aplicou a opção de clusterização das alternativas, disponível na ferramenta *online*, sendo possível a verificação de 2 subgrupos entre os decisores, adotando a escala padrão do método AHP-OS, com limite de 0,975.

O resultado da matriz de similaridade apresentou o percentual de 76,1%, para o índice global de homogeneidade S , superior a 70%, não sendo necessário o agrupamento dos decisores.

Os *clusters* identificados obtiveram índice S de 81,9% entre 6 de 8 (75%) participantes e 90,8% com 2 de 8 (25%) participantes, identificados pela aplicação do limite máximo de consenso calculado pela ferramenta *online*, considerando a faixa de consenso entre 70% e 97,5% em etapas de 2,5%.

A matriz de similaridade composta por 2 *clusters* de tomadores de decisão demonstra, portanto, a homogeneidade do grupo decisor apoiando o entendimento da priorização e o ranqueamento realizados, demonstrando a eficácia do método proposto.

A partir do ranqueamento dos requisitos operacionais dos sistemas de gestão de saúde, torna-se viável a seleção dos algoritmos de consenso, conforme cada contexto de aplicação da tecnologia *Blockchain*.

Ademais essa metodologia pode ser aplicada em outros campos do conhecimento favorecendo escolhas mais assertivas e contundentes, aumentando a eficiência e eficácia dessas tecnologias inovadoras ainda na fase de pré-implantação, por considerar elementos técnicos por gestores especialistas ou não, simplificando a tomada de decisão.

VI. CONCLUSÕES E TRABALHOS FUTUROS

Neste trabalho, buscou-se demonstrar a aplicação do método de análise multicritério por meio da ferramenta AHP OS para ranquear os requisitos operacionais dos sistemas de gestão de saúde baseados em plataformas *Blockchain*, viabilizando a seleção dos algoritmos de consenso de forma adequada pelos tomadores de decisão, sejam eles especializados ou não na tecnologia a ser implementada.

O problema geral proposto foi resumido por critérios e subcritérios que foram avaliados com base em estudos técnicos sobre os algoritmos de consenso e o método de análise multicritério para apoio à tomada de decisão, que permitiu a identificação da melhor alternativa através de uma ferramenta matemática, contribuindo assim para reduzir a subjetividade e a incerteza do processo decisório para implantação da tecnologia *Blockchain* em sistemas de gestão de saúde.

O critério mais relevante identificado foi a Eficiência, conforme subcritérios adotados. As alternativas que mais influenciaram os tomadores de decisão foram o “tempo de verificação do bloco” com 17,9% de priorização, seguido pelo “grau de disponibilidade” e o “volume de dados da rede” com 15,2% de priorização.

O resultado consolidado do ranqueamento dos requisitos operacionais considerou a razão máxima de consistência dos tomadores de decisão, com percentual de CRmax de 0,2%, sendo considerado aceitável para o problema geral proposto.

O índice global de homogeneidade S obteve o percentual de 76,1% de consenso, não sendo necessário *clusterizar*, dado o equilíbrio das escolhas.

Dessa forma, o método de análise multicritério AHP com suporte ferramental da AHP OS permite a atuação conjunta e integrada dos tomadores de decisões estabelecendo o alinhamento das incertezas individuais com o grupo, favorecendo a implementação de novas tecnologias baseada em resultados confiáveis no contexto da saúde

Outro ponto de destaque é o ranqueamento do critério eficiência, reconhecido e alinhado às necessidades do paciente e da segurança nos sistemas de saúde, cabendo outras análises para efetividade da proposta. Como trabalhos futuros e cientes das limitações desta pesquisa, sugere-se a comparação de outros algoritmos de consenso para promover a disseminação e simplificação do conhecimento técnico sobre a implementação da *Blockchain* no contexto da saúde ou de outras tecnologias inovadoras.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] S. K. a. X. X. a. C. Y. a. L. Q. Lo, "Evaluating Suitability of Applying Blockchain," *22nd International Conference on Engineering of Complex Computer Systems (ICECCS)*, pp. 158-161, 11 2017.
- [2] C. Cornelius et al., "Comparison of Blockchain Frameworks for Healthcare Applications," *Internet Technology Letters*, vol. 2, no. 5, 18 07 2019.
- [3] M. M. a. W. R. P. De Filippi, "Blockchain as a confidence machine: The problem of trust and challenges of governance.," *Technology in Society*, p. 101284, 2020.
- [4] T. K. D. C. P. Fran Casino, "A systematic literature review of blockchain-based applications: Current status, classification and open issues," *Telematics and Informatics* 36 (2019), pp. 55-81, 17 11 2018.
- [5] C. A. H. e. F. H. M. Diego A. Giral, "Algoritmos para Toma de Decisiones en Redes Inalámbricas Cognitivas: una Revisión," *Información Tecnológica*, vol. 30(6), pp. 387-402, 2019.
- [6] Goepel, "Implementation of an Online Software Tool for the Analytic Hierarchy Process (AHP-OS)," *International Journal of the Analytic Hierarchy Process*, vol. 10, pp. 469-487, 2018.
- [7] S. Verma et al., "Introduction of Formal Methods in Blockchain Consensus Mechanism and Its Associated Protocols," *Institute of Engineering & Technology*, vol. 10, 21 06 2022.
- [8] G. G. Dagher et al., "Ancile: Privacy-preserving framework for access control and interoperability of electronic health records using blockchain technology.," *Sustainable Cities and Society*, vol. 39, pp. 283-297, 2018.
- [9] S. Singh et al., "A framework for privacy-preservation of IoT healthcare data using Federated Learning and blockchain technology," *Future Generation Computer Systems*, pp. 380-388, Abril 2022.
- [10] L. Ismail et al., "Requirements of Health Data Management Systems for Biomedical Care and Research: Scoping Review," *J Med Internet Res*, vol. 22, No. 7, e17508, 7 Jul 2020.
- [11] Rodrigues, "Blockchain-Based Platform for Managing Patients' Data in the Public Healthcare System of Brazil," *Revista de Sistemas e Computação*, vol. 11, pp. 63-72, 09 12 2021.
- [12] K. Azbeg et al., "BlockMedCare: A healthcare system based on IoT, Blockchain and IPFS for data management security," *Egyptian Informatics Journal*, 02 2022.
- [13] F. A. Shikah J. Alsunaidi, "A Survey of Consensus Algorithms for Blockchain Technology," *Computer Science, Mathematics*, 03 Abril 2019.
- [14] Y. Xiao, "A Survey of Distributed Consensus Protocols for Blockchain Networks," *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, vol. 22, no. 2, Secondquarter, pp. 1432-1465, 2020.
- [15] Q. a. L. R. a. C. S. a. X. Y. Wang, Formal Security Analysis on dBFT Protocol of NEO, 2021.
- [16] Y. Zhang et al., "Distributed data backup and recovery for software-defined wide area network controllers.," *Trans Emerging*, 2022.
- [17] A. Bracciali et al., "Descentralização em sistemas de quorum aberto: resultados limitativos para ondulação e estelar," *2ª Conferência Internacional sobre Economia, Segurança e Protocolos Blockchain, Tokenomics 2020*, 2021.
- [18] T. L. Saaty., "Decision making with the analytic hierarchy process," *International Journal of Services Sciences*, vol. 1, no. 1, pp. 83-98, 01 2008.
- [19] Sy et al., "A survey of application research based on blockchain smart contract.," *Wireless Networks*, 17 Janeiro 2022.
- [20] C. Rodrigues and C. Silva, "Uma análise de algoritmos de consenso para Blockchain visando à implementação de sistemas de informação distribuídos transparentes.," *Revista de Sistemas e Computação*, 25 07 2019.
- [21] F. R. Freire et al., "Towards Consensus Algorithm for Healthcare Management Systems in Blockchains," *Lupine Publishers*, 25 01 2023.
- [22] ISO/IEC , "27000," *ISO/IEC 27000 – Tecnologia da informação – Técnicas de segurança – Sistemas de gestão de segurança da informação – Visão Geral e Vocabulário*, 2018.
- [23] S. Bamakan et al., "A survey of blockchain consensus algorithms performance evaluation criteria," *Expert Systems with Applications*, vol. 154, p. 113385, 2020.
- [24] R. Flexa, "Processo decisório em sistemas de saúde: uma revisão da literatura," *Saúde e Sociedade*, vol. 27, no. 3, pp. 729-739, 07-09 2018.
- [25] M. M. L. M. R. P. Ernestas Filatovas, "A MCDM-based framework for blockchain consensus protocol selection," *Expert Systems with Applications*, vol. 204, p. 117609, 15 10 2022.
- [26] A. Guarischi, "Tomada de decisao quem decide pode errar quem se omite ja errou," *Medscape*, 2020.
- [27] J. A. L. T. Alonso, "Consistency in the Analytic Hierarchy Process: A new approach.," *International Journal of Uncertainty*, vol. 14, no. 4, pp. 445-459, 2006.
- [28] R. H. MacArthur, "Patterns of species diversity. Biol. Rev.," *Biological Reviews*, pp. 40, 510 –533., 1965.
- [29] M. Seyed et al., "A survey of blockchain consensus algorithms performance evaluation criteria," *Expert Systems with Applications*, vol. 154, p. 113385, 2020.