



Mecanismo de consenso para *Blockchain* Ambiental: Prova de consciência ecológica (PoEa)

Daniel Weigert CAVAGNARI ^{*1} , Lia Maris Orth Ritter ANTIQUEIRA ² ,

¹ Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, PR, Brasil.

² Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Ponta Grossa, PR, Brasil.

*E-mail: cavagnari@me.com

Submitido em: 31/03/2025; Aceito em: 07/05/2025; Publicado em: xx/05/2025.

RESUMO: São inúmeros os mecanismos de consenso existentes em diversas redes *blockchain*, seja qual for o processo que necessite de independência, agilidade e credibilidade em registros digitais. Assim, o objetivo deste estudo foi de criar um processo (pseudocódigo) de mecanismo de consenso, exclusivo para registros de ocorrências ambientais, permitindo validar registros e blocos com critérios próprios e cuidadosos para o meio ambiente. A justificativa para criação, apesar da dinâmica eficiente e prática dos demais consensos existentes, foi o de enumerar tratamentos que atendessem a natureza e a biodiversidade. Registros de ocorrências ambientais necessitam de visão sensível e qualificada para os dados tratados, porque envolvem a natureza, a sociedade, a vida de modo geral. Como metodologia, fora implementada uma pesquisa descritiva e bibliográfica, conhecendo o funcionamento dos consensos mais comuns e cada qual com sua particularidade. Ainda, foram aplicadas simbologias para representatividades, possibilitando interpretações digitais de conteúdos, geralmente e puramente analógicos, como uma simples chuva, agora compreendida como um código que a representa, na sua forma como impacta no meio ambiente. Também, foram aplicados códigos oficiais que já representam ocorrências de desastres naturais ou tecnológicos. Essas simbologias permitirão a classificação dessas ocorrências para a seleção técnica dos validadores desses dados.

Palavras-chave: consenso ambiental; ocorrências ambientais; algoritmo ecológico; classificação ambiental; validação ambiental.

Consensus Mechanism for Environmental Blockchain: Proof-of-Eco-Awareness (PoEa)

ABSTRACT: There are numerous consensus mechanisms existing in various blockchain networks, regardless of the process that requires independence, agility, and credibility in digital records. Therefore, the objective of this study was to create a consensus mechanism process (pseudocode) exclusive to environmental occurrence records, allowing the validation of records and blocks with specific and careful environmental criteria. Despite the efficient and practical dynamics of other existing consensus, the justification for its creation was to enumerate treatments catering to nature and biodiversity. Environmental occurrence records require a sensitive and qualified view of the data handled because they involve nature, society, and life. As a methodology, descriptive and bibliographic research was implemented to understand the functioning of the most common consensus, each with its particularities. Additionally, symbols were applied to represent these occurrences, enabling digital interpretations of generally and purely analog contents, such as a simple rain event, now understood as a code that represents it, regarding its environmental impact. Furthermore, official codes representing natural or technological disaster occurrences were applied. These symbols will allow the classification of these occurrences for the technical selection of data validators.

Keywords: environmental consensus; environmental occurrences; ecological algorithm; environmental classification; environmental validation.

1. INTRODUÇÃO

Criptomoedas já fazem parte do dia a dia como uma cultura, mais como ativos digitais, do que moedas propriamente, como são conhecidas. A particularidade delas baseia-se em uma tríade comum, segurança, publicidade e descentralização (TAPSCOTT, 2017). Isso significa que elas existem não por decisões monocráticas ou controles centralizados, mas por serem públicas, distribuídas e seguras. Essas características são possíveis pela tecnologia que as envolvem, a *blockchain* (LANSITI; LAKHANI, 2020).

E não são apenas as criptomoedas que se dinamizam a partir dessa tecnologia. Assim que for lançado oficialmente o Drex (*Digital Real Experiment*), a moeda brasileira digital (Real digital), que não se trata de uma criptomoeda, mas uma moeda comum, que, embora controlada a emissão pelo Banco Central do Brasil, terá a garantia de rastreabilidade, segurança e particularidades possíveis pela *blockchain*, como o mecanismo de consenso que permite a autenticação e gravação dos dados, os blocos.

Segundo o Banco Central do Brasil (2024), o *blockchain* do Drex utiliza como mecanismo de consenso o PoA (proof-of-Authority), prova de autoridade, que além de mais sustentável, por não promover corrida para desvendar quebra-cabeça, como ocorre com o mecanismo de outros *blockchains* e com isso não consome energia desnecessária. Também, e pela mesma dinâmica, o PoA tem maior escalabilidade da rede (internet), o que permite que não haja sobrecarga de nós (usuários participantes da rede *blockchain*).

O PoA tem como principal característica a seleção dos validadores da rede, ou seja, usuários participantes, com identidade e reputação à prova, trazendo uma confiança extra (ZHANG et al., 2019).

Embora o mecanismo de consenso de um *blockchain* não seja a única característica de segurança dessa tecnologia, cabe observar que é peça fundamental para a dinâmica do processo, pois é ele que permite que os blocos e registros sejam criados, validados e finalmente gravados em definitivo na rede (CARREIRA et al., 2023).

E exatamente dessa dinâmica que será tratada daqui em diante, da criação de um mecanismo de consenso, para operar em um *blockchain*, com processos de registro de ocorrências para o meio ambiente. Como registros de acontecimentos, históricos, ocorrências ambientais, impactos, ou seja, qualquer tipo de informação que permita o registro de evidências, relacionadas ao meio ambiente, como já ocorre em registros de bases de dados digitais de órgãos como IBAMA, ICMBio, Defesa Civil, entre outros.

A questão principal aqui não é que não possam ser usados mecanismos de consenso já existentes, mas é preciso considerar que esses registros relacionados a ocorrências ambientais não se trata apenas de campos simples e objetivos, como data, valor, recebedor e pagador, como acontece em transações de dados financeiros e processos uniformes.

Dependendo da complexidade das informações, principalmente do lugar a que se originam as ocorrências, dezenas de informações são importantes e devem ser corretamente tratadas, antes de serem salvas em um registro definitivo.

É importante frisar que se trata de ocorrências no meio ambiente, envolvendo a natureza, sociedade. Seres vivos.

1.1. Tecnologia Blockchain

Segundo Marchesin (2022), a tecnologia *blockchain* trata de um arquivo de dados (como informações organizadas, registros, tabelas etc.), que não possui um controle (alguém administrando o conteúdo) ou uma base específica (um computador central, por exemplo). É o que a define como descentralizada (todos têm, todos controlam e compartilham, não há um controle ou gerenciamento central).

A informação registrada dentro de um *blockchain* (ou tecnologia *blockchain*), antes de ser aceita em definitivo, tem que passar por um processo de avaliação e validação. É o mecanismo de consenso. Quando é colocada uma informação dentro de um arquivo dotado dessa tecnologia, esses dados devem ser conferidos e atestados por um algoritmo, antes de serem efetivamente gravados. (WALKER, 2018).

Se as informações contidas forem verdadeiras, estiverem corretas e coerentes, os dados são definitivamente gravados (blocos) e o *blockchain* é transmitido para todos os detentores da cópia do arquivo.

Segundo Kuntz (2022), a tecnologia e o processo no *blockchain* são simples, mas requerem uma engenharia

específica para funcionar (gravação de registros e blocos, criptografia, chaves, entre outros). Da mesma forma como as transações com criptomoedas funcionam com segurança em um *blockchain*, outros tipos de processos, seja de logística, documentos, entre outros, também funcionarão com segurança. Segurança essa que vai além dos métodos digitais.

1.2. Metodologia

Como metodologia para definir um mecanismo de consenso para validar dados de registros ambientais, com o uso da tecnologia *blockchain*, fora aplicada a pesquisa descritiva e bibliográfica, com o intuito de conhecer os processos técnicos que determinam a aplicação de inúmeros algoritmos, bem como sua operacionalidade e aplicabilidade (GIL, 2022).

Há de se observar que *blockchains* tratam de registros computacionais, que podem ter inúmeros objetivos, como das criptomoedas, de logística, entre outros, cada qual com suas formas de classificar e interpretar os dados.

Os mecanismos de consenso têm como objetivo a validação e organização dos dados de registros, antes de efetivarem os blocos que compõe a rede *blockchain*. Assim, entende-se que interpretar registros ambientais requer uma sensibilidade, dadas as especificidades (FAHIM et. al, 2023).

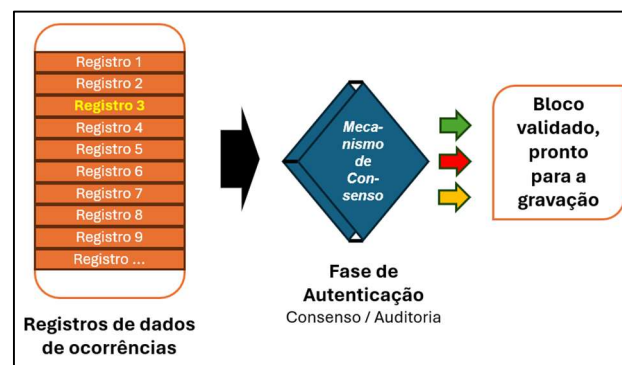


Figura 1. Atuação do algoritmo de consenso.

Figure 1. Performance of the consensus algorithm.

As diferenças entre as ocorrências ambientais dependem de análise qualificada, algumas podem causar impactos, bons ou ruins e em muitos casos desastres e para validá-los é importante selecionar técnicos especializados para esse papel.

Embora muitas incidências possam ser entendidas como boas ou ruins, dado o grau de complexidade e principalmente de consequências geradas, é necessário um olhar mais qualificado, porque nem todas são iguais e ser considerada boa ou ruim pode ser apenas uma condição de perspectiva.

Uma chuva leve é uma ocorrência boa, umedece o verde para uma fazenda, enquanto para a outra, pode alagar. Plantar uma árvore pode ser bom para todos. Ou ainda, essas duas ocorrências não se comparam, mas com certeza se classificam e trazem informações importantes. A chuva pode se transformar em enxurrada e a árvore plantada, dependendo da espécie, pode alterar o ambiente de forma a mudar a biodiversidade e causar impactos negativos.

Por isso, para ocorrências ambientais, sejam elas de origem antropogênica ou natural, compreendendo que elas podem trazer consequências à sociedade ou ao meio ambiente, serão consideradas pré-classificações, com objetivo de determinar a competência necessária dos agentes que farão as validações dos dados, dentro do consenso.

A classificação terá como único objetivo selecionar nós qualificados para validação do tipo de registro ambiental. E esses nós devem ser representados por profissionais experientes e estudiosos, sempre que necessário.

Para possibilitar esse processo, de modo geral e com o intuito de atribuir uma simbologia e classificação a todo e qualquer tipo de ocorrência ambiental, com base nos Ganhos e Perdas Skinnerianos (CAVAGNARI; ANTIQUEIRA, 2023), serão utilizadas as Tabelas 1 e 2.

A teoria de Skinner é aplicada nessas tabelas como uma lógica para interpretar ações humanas e naturais sobre o meio ambiente, classificando suas consequências em reforços e punições (simbologia), positivos ou negativos. Essa abordagem permite organizar impactos ecológicos como ganhos e perdas, compondo um balanço ambiental funcional e sensível.

As Tabelas 1 e 2, apresentam uma lógica para classificação de ocorrências ambientais, sejam elas causadoras de desastres ou não, de forma antrópica ou natural. Essas ocorrências podem ou não causar impacto ambiental, afetando o meio ambiente ou a sociedade, seja de forma positiva ou negativa. Cada ocorrência pode ter mais de uma dessas atribuições (mais de uma simbologia).

Com os exemplos aplicados nas tabelas, é possível relacionar qualquer ocorrência, dentro da lógica skinneriana, com a simbologia, de forma cautelosa e documental.

Importante observar que o objetivo não é determinar um status ou um selo para a ocorrência, e sim, possibilitar uma hierarquia de avaliação dela. Não se trata de ser boa ou ruim a ocorrência, mas a quem cabe a competência de mensurá-la e avaliá-la corretamente.

Tabela 1. Ganhos e Perdas Skinnerianos (Responsável Antropogênico).

Table 1. Skinnerian Gains and Losses (Anthropogenic Responsible).

Afetado	Ações e Reações que Acarretam Consequências ao Afetado	Ganho ou Perda Skinneriano	Simbologia
Meio Ambiente	Ação antrópica que pode acrescentar ganho ou benefício ao meio ambiente	Reforço Positivo	AMA/R+
	Esforços do responsável que removem ou evitam ações que possam prejudicar o meio ambiente	Reforço Negativo	AMA/R-
	Atos que prejudicam o meio ambiente, podendo ser recuperados ou trazem pelo menos um aprendizado no futuro	Punição Positiva	AMA/P+
	Atos que prejudicam o meio ambiente, podendo ser irreversíveis ou de longo prazo	Punição Negativa	AMA/P-
Sociedade	Ação antrópica que acrescenta ganho ambiental à sociedade	Reforço Positivo	AS/R+
	Esforços que removem ou evitam ações que possam prejudicar a sociedade	Reforço Negativo	AS/R-
	Atos que prejudicam a sociedade, mas que possam ser revertidos ou trazerem um aprendizado futuro	Punição Positiva	AS/P+
	Atos que prejudicam a sociedade, podendo ser irreversíveis ou de longo prazo	Punição Negativa	AS/P-

Fonte: Cavagnari; Antikeira (2023).

Tabela 2. Ganhos e Perdas Skinnerianos (Responsável Natureza).

Table 2. Skinnerian Gains and Losses (Responsible Nature).

Afetado	Ações e Reações que Acarretam Consequências ao Afetado	Ganho ou Perda Skinneriano	Simbologia
*Meio Ambiente	Ocorrências naturais que possam acrescentar ganho ou benefício ao meio ambiente	Reforço Positivo	NMA/R+
	Ocorrências naturais que removem ou corrigem alterações da natureza. Ajustes da natureza	Reforço Negativo	NMA/R-
	Ocorrências da natureza ao meio ambiente que possam ser recuperados ou trazem um aprendizado ao futuro	Punição Positiva	NMA/P+
	Ocorrências naturais ao meio ambiente que possam ser irreversíveis ou de longo prazo	Punição Negativa	NMA/P-
*Sociedade	Ocorrências naturais que acrescentam ganho ambiental à sociedade	Reforço Positivo	NS/R+
	Ocorrências naturais que removem ou corrigem alterações da natureza	Reforço Negativo	NS/R-
	Ocorrências naturais que atingem a sociedade, podendo ser revertidos ou trazem um aprendizado futuro	Punição Positiva	NS/P+
	Ocorrências naturais que atingem a sociedade, podendo ser irreversíveis ou de longo prazo	Punição Negativa	NS/P-

Fonte: Cavagnari; Antikeira (2023). Nota: *Ações da natureza para o meio ambiente ou sociedade, geralmente trazem custos à sociedade, apesar do benefício ao meio ambiente. **Mensurar ocorrências naturais com consequências ao meio ambiente ou sociedade, dependem de competência técnica para avaliar esses acontecimentos (geólogos, engenheiros florestais etc.).

Registros digitais, que operam com mecanismos de consenso, como no caso do *blockchain*, precisam ser tipificados para que agentes sejam selecionados corretamente, para validação dos dados.

Acontecimentos ao meio ambiente podem parecer simples, por fazerem parte do cotidiano. Por exemplo, plantar uma árvore, de forma consciente e assistida, é um benefício. Derramar óleo em uma praia, é quase que imediata a sensação de que causará grandes prejuízos. Mas em casos

naturais, como um terremoto, vendaval ou enchente. A quem puni e a quem beneficia não é trabalho para qualquer pessoa. Existe a necessidade de competência técnica, não só pela mensuração, mas pela experiência e vivência, pelos estudos.

A exemplo, uma erupção vulcânica pode ter proporções a ponto de refazer a paisagem local e criar uma nova biodiversidade. Punição da natureza sim, mas positiva, por criar vida ao meio ambiente. Ou podem fazer com que uma ilha inteira desapareça e junto com ela uma gama de espécies.

Punição negativa da natureza para o meio ambiente. Mas até mesmo nesse exemplo, há risco de classificar de forma leviana, dado um ponto de vista raso e de senso comum.

Apesar disso, existem profissionais muito bem-preparados e aparelhados para essa classificação, e com base nas Tabelas 1 e 2, a classificação de um registro digital de ocorrência ambiental será determinante para seleção de validadores de registros em uma rede *blockchain*. Dependendo do tipo e grau da ocorrência, ocasionada por humanos ou pela natureza, essas ocorrências precisam ser avaliadas e validadas por profissionais qualificados.

Aplicando o Tabela 2 como exemplo, um registro no início da primavera, de uma polinização, em uma região qualquer, devidamente triangulada, registrada por um apicultor. Para essa ocorrência pode ser atribuído um código, como NMA/R+, que indica que a Natureza causou um benefício ao Meio Ambiente, com ganhos reais (reforço positivo, R+). O consenso para esse código, dada a complexidade técnica de validação, pode ser feito por biólogos ou agrônomos, onde o próprio algoritmo de consenso, com auxílio do conceito de GP Skinner, estabelece essa seleção antes de dispor os dados para validação.

Para os casos de classificação de desastres, existe o Cobrade (Classificação e Codificação Brasileira de Desastres), atribuído a essas ocorrências por órgãos de suporte e salvamento, como Defesa Civil, Corpo de Bombeiros, entre outros, com objetivo de registro e documentação oficiais (CAVAGNARI; ANTIQUEIRA, 2024).

A Tabela 3 apresenta a classificação do Cobrade, que compõe o código atribuído em registros digitais de desastres, código esse encontrado em bases de dados como Atlas Digital, Diário Oficial, entre outros.

Para todas as ocorrências, será atribuído um código que servirá como classificação para o mecanismo de consenso, permitindo a distribuição de competências para a validação dos registros. Nos casos de desastres, será utilizado preferencialmente o código oficial atribuído pelo Cobrade.

Tabela 3. Classificação e Codificação Brasileira de Desastres – Grupos do Cobrade.

Table 3. Brazilian Classification and Codification of Disasters – Cobrade Groups.

Desastres Naturais	Desastres Tecnológicos
1.1. Geológicos	2.1. Substâncias Radioativas
1.2. Hidrológicos	2.2. Produtos Perigosos
1.3. Meteorológicos	2.3. Incêndios Urbanos
1.4. Climatológicos	2.4. Obras Cíveis
1.5. Biológicos	2.5. Transporte de Passageiros e Cargas não Perigosas

Fonte: Elaborado pelo Autor. Portaria N° 260, de 2 de fevereiro de 2022.

Na Figura 2 é ilustrado o processo de classificação, onde ocorrências de desastres atribuídas pelo Cobrade, são selecionadas para profissionais específicos para validação do registro. Também, em caso de não desastre, as ocorrências são classificadas pela perspectiva de GP Skinner, também definindo os profissionais qualificados para validação desses registros.

É importante frisar que o objetivo aqui não é a criação de um código computacional para funcionar como algoritmo de consenso, mas sim o desenvolvimento do processo e da dinâmica, um pseudocódigo, para autenticação, criação e gravação de blocos em uma rede *blockchain*. Essas são etapas distintas que dependem de um notável conhecimento técnico

em computação e criptografia aplicada em DLTs (*Distributed ledger technologies*) e *blockchains*.

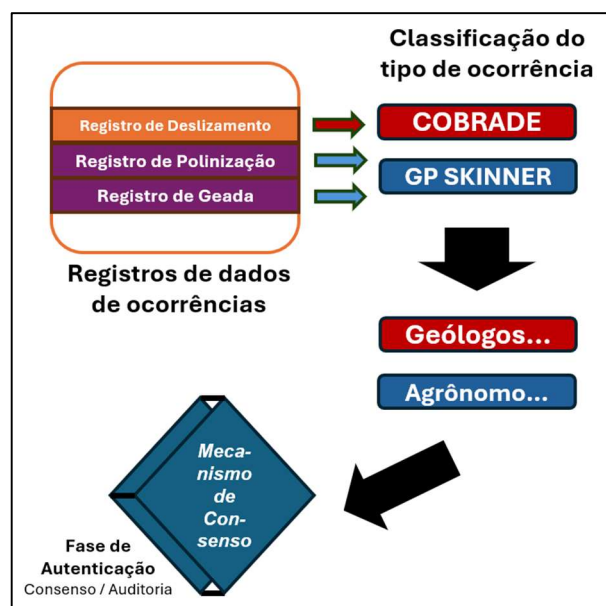


Figura 2. Classificação da Ocorrência para Validação.

Figure 2. Case Classification for Validation.

Vale observar ainda que as ocorrências ambientais se apresentam de diversas formas e por isso, nem sempre exigem uma observação ou dados amplamente técnicos ou até noticiados. Por exemplo, uma chuva nas margens de um rio, cujo registro digital é feito, pode ser medida por um órgão meteorológico, apresentando dados de volume e uma nota rápida da própria empresa.

2. Pesquisa: Blockchain e mecanismos de consenso

O uso da tecnologia *blockchain* está presente em muitos outros processos, diferentes da sua experiência global iniciada pelo Bitcoin. Por isso, não faz sentido falar da segurança proporcionada sem mencionar as criptomoedas. Elas só são criadas a partir de um consenso, baseado em algoritmo e a participação de usuários (WALKER, 2018).

Antes de aprofundar as formas como os blocos de dados são (e porque) gravados no *blockchain*, é importante um destaque acerca da tecnologia que está por trás da segurança dos dados. Essa segurança se dá por diversos processos, como por exemplo, o de cada um dos usuários do *blockchain* possuir parte ou todo o arquivo de dados do *blockchain*. É a tecnologia de compartilhamento entre pares (*peer-to-peer*, P2P) (KUNTZ, 2022).

Segundo Munhoz; Cavagnari (2019), a tecnologia P2P surgiu no início da internet, anos 1980 e se popularizou principalmente na distribuição de músicas, não licenciadas, pelo sistema Napster (de 1999 a 2002). Os arquivos de música não vinham de uma fonte única, mas de um grupo, que possuía cada pedaço (nó) do arquivo. A união desses pedaços definia o arquivo todo.

O algoritmo de consenso (ou mecanismo de consenso) refere-se aos participantes (nós) da rede *blockchain* que serão classificados para verificar as informações gravadas nos registros e nos blocos. Qualquer inconsistência (assinaturas digitais inválidas, datas etc.), o bloco é rejeitado e excluído da *blockchain* (CARAVINA, 2017).

No caso da criptomoeda Bitcoin, por exemplo, cada bloco cria um número baseado na criptografia dos dados,

cujo seu valor é escondido por um quebra-cabeça digital. Esse número é conhecido como nonce, para ser utilizado uma única vez e para uma disputa de validadores. Por ser um código elaborado por criptografia, para desvendá-lo é preciso um grande poder de processamento matemático (KUNTZ, 2022).

No *blockchain* do Bitcoin os participantes que tentam desvendá-lo, são conhecidos por mineradores [27], aquele que desvendar primeiro, ganha o direito de auditar o bloco e gravá-lo, recebendo uma recompensa em bitcoins por isso. Esse processo de consenso, em que há uma disputa, chama-se “prova de trabalho” (*Proof-of-work*, PoW) (KUNTZ, 2022).

Existem diversos algoritmos de consenso, que variam conforme o *blockchain* da criptomoeda ou de outros processos. É esse algoritmo que determina a dinâmica, princípios e segurança do processo de validação do *blockchain*.

2.1. Mecanismos de Consenso

O *blockchain* é uma tecnologia que administra a gravação de blocos, blocos de registros de dados. Para esse mecanismo funcionar ele precisa de liberdade e segurança. Mas existe ainda a condição de registrar os dados e gravar os blocos. E este processo exige um consenso, uma verificação das informações que serão gravadas e atestadas como verdadeiras. A necessidade se dá porque é um processo sem volta. É uma gravação definitiva (CARAVINA, 2017).

Como exemplo, em um *blockchain* de criptomoeda, pode existir toda a segurança possível, mas na hora de gravar o bloco em definitivo, se este for duplicado, seja por problemas técnicos ou fraude, pode ser um grande prejuízo, como um usuário transferindo criptomoedas a outro, em dobro, sem a vontade real (KUNTZ, 2022).

Assim, existem os mecanismos de consenso, que selecionam no algoritmo do *blockchain*, nós (usuários participantes) para autenticar esses registros e blocos, analisando os seguintes critérios: (KUNTZ, 2022).

a) Verificação de assinaturas digitais.

- Saldos de contas (em caso de criptomoedas) suficientes para o processo.
- Registros duplicados (acidentalmente ou fraudulenta).
- Criação dos blocos (gravação definitiva).
- Despacho para a cadeia de nós da rede.
- Penalização das condutas fraudulentas ou antiéticas.
- Entre outros.

Essa verificação é necessária para garantir que os registros não sejam alterados ou apresentem informações sem embasamento, como o registro de uma transferência de uma conta para outra, onde o valor de origem pode não combinar com o saldo disponível. Se não há saldo suficiente, como poderia haver transferência?

Segundo Fahum et. al (2023), esse é um dos motivos pelos quais a descentralização é um conceito de segurança, onde bases centralizadas estão sujeitas a escolhas unilaterais e possibilidade de decisões mal-intencionadas. Um poder de grande responsabilidade.

Mas essa é a parte do ajuizamento das gravações dos blocos, evitando falhas ou fraudes. Existem ainda as particularidades de cada consenso em termos de processo, desde o de escolha dos nós participantes (postura, participação, identidade, reputação etc.), até as questões puramente técnicas e operacionais, como de formato, tempo, tamanho do bloco ou dos dados (ZHANG et al, 2019).

Na Tabela 4, são apresentados alguns algoritmos de consenso conhecidos e suas principais diferenças, permitindo uma visão da forma como os integrantes de consenso (nós) são escolhidos, particularidades do processo, o quanto são realmente descentralizados ou que potencialmente possam criar um controle paralelo. Ainda, o quanto ocupam da escalabilidade (capacidade, velocidade, energia da rede) e, o quanto são ambientalmente sustentáveis. Para evitar um excesso de conceitos, processos de consenso similares aos que já estão listados, e, apesar de fazerem parte do contexto das biografias aqui utilizadas, foram suprimidos nessa tabela.

Tabela 4. Algoritmos de Consenso Popular.

Table 4. Popular Consensus Algorithms.

Consenso	Funcionamento	Grau de Descentralização	Escalabilidade / Sustentabilidade
Proof-of-Work (PoW)	Seleção de nós altamente aleatória. É o conceito de minerador. Quem desvenda o código primeiro, trata o bloco e recebe prêmio. Ex: Bitcoin.	Alta (qualquer nó pode se juntar a rede). A necessidade de alto poder de processamento pode privilegiar e criar um controle e centralização paralela.	Baixa escalabilidade. Pouco sustentável. Uso exacerbado de energia para desvendar o quebra-cabeça digital.
Proof-of-Stake (PoS)	Aleatoriedade média na seleção de nós. Os nós possuidores de mais ativos digitais são escolhidos por serem mais sólidos, mais interessados. Ex: Ethereum.	Apesar da alta descentralização, a condição técnica de ser um potencial participante pode regionalizar ou centralizar o poder.	Alta escalabilidade e sustentabilidade. Não há acesso e competição exacerbado para minerar.
Proof-of-Authority (PoA)	Baixa aleatoriedade. O processo de verificação de identidade seleciona validadores com reputação e identidade estabelecida. Ex: Drex.	Baixa (Exige prova de reputação). Há poucos participantes. O sacrifício da reputação condiciona posturas mais éticas.	Alta escalabilidade e sustentabilidade. Não há acesso e competição exacerbado para minerar.
Delegated Proof of Stake (DPoS)	Baixa aleatoriedade. Detentores de tokens (ativo digital) escolhem delegados e testemunhas. Quanto mais tokens, maior peso nos votos. Delegados criam blocos, testemunhas auxiliam no consenso. Ex: Bisares	Baixa (Apenas participantes da rede. Escolha por votos). Os delegados devem criar e validar blocos, seguindo critérios. Qualquer desvio e são substituídos.	Altíssima sustentabilidade e escalabilidade. Não há competição para minerar e os validadores são reduzidos.
Proof of Importance (PoI)	Aleatoriedade média. Os participantes mais ativos (detentores de mais moedas, mais registros de atividade etc.) são escolhidos entre os mais presentes, mais integrados. Os mais importantes. Ex: NEM (<i>New Economy Movement</i>).	Médio (Os participantes mais ativos, mais bem pontuados, são escolhidos). A diversidade de nós suprime a possibilidade de cartéis.	Altíssima sustentabilidade e escalabilidade. Não há competição para minerar e os validadores são reduzidos.
Proof of Elapsed Time (PoET)	Alta aleatoriedade. Similar ao PoW, mas com controle de tempo, evitando que altos poderes de processamento definam o menor tempo. Usado para transacionar tokens, <i>smartcontracts</i> , dados de IoT e IA, entre outros.	Baixa (Os nós devem possuir hardware especializado: SGX). Muito baixa a possibilidade de descentralizar. A distribuição de tempo define uma	Alta escalabilidade e sustentabilidade. Não há acesso e competição exacerbado para minerar.

Consenso	Funcionamento	Grau de Descentralização	Escalabilidade / Sustentabilidade
		equidade, pois todos têm processamento compatível.	
Ordering Based Consensus (OBC)	Alta aleatoriedade. Similar ao PoW, mas com limite de tempo. Usado para registros de <i>supply chain</i> , <i>smartcontracts</i> , registros médicos, entre outros processos.	Baixo. Resistente a nós defeituosos. Baixa a possibilidade de descentralizar, dado o controle de tempo.	Alta escalabilidade em termos de taxa de transferência e transações. Alta sustentabilidade. Não há competição para minerar
Proof-of-Vote (PoV)	Alta aleatoriedade. Similar ao PoW e ao PoS. Todos os nós são chamados a votar a autenticação do bloco. Usado para rastreamento de produtos, gerenciamento de ativos digitais, entre outros.	Muito baixo, por ser muito democrático.	Alta escalabilidade e sustentabilidade. Não há acesso e competição exacerbado para minerar.
Proof-of-Capacity ou Proof-of-Space (PoC / PoSpace)	Alta aleatoriedade. Similar ao PoW e ao PoS. Utilizam as capacidades de armazenamento dos usuários, de suas próprias máquinas. Ex: Burstcoin.	Alto (qualquer nó pode se juntar a rede). A necessidade de capacidade de espaço pode privilegiar, mas é menor que o poder de processamento.	Média escalabilidade dada a necessidade de desvendar um quebra-cabeça. Média sustentabilidade. Apesar da competição, não exige poder de processamento, mas de armazenamento.

Fonte: ZHANG et. al (2019); FAHIM et. al (2023); OLIVEIRA et. al (2020); FERDOUS et. al (2020).

Nota: O critério de sustentabilidade baseia-se na redução do uso de energia em computadores. Sistemas de mineração competitivos (quebra-cabeça) exigem alto poder de processamento e consequentemente de energia. A escalabilidade baseia-se principalmente no uso da rede, internet (usuários conectados simultaneamente), quanto mais escalável, significa que menos usuários congestionam a rede.

Na Tabela 4 apresentada, o que pode ser percebido, é que cada um desses algoritmos possuem um objetivo comum, que é criar, auditar e validar cada registro e bloco de dados. Cada um dos processos concentra-se na seleção dos participantes e no quanto podem representar um problema, principalmente de energia e consequentemente ambiental, como o algoritmo PoW, que possui uma competição para desvendar um quebra-cabeça, em que vence e recebe prêmio quem utilizar mais poder de processamento, ou seja, uso de energia exacerbada para processamento de códigos (CARAVINA, 2017).

Mas não é o caso dos mecanismos mais atuais, que podem gerar seus processos conforme a necessidade e dinâmica, do que será gravado, como ocorre nos novos conceitos de contratos inteligentes, tokens, logística, entre outros que exigem seriedade, menor potencial de controle ou cartelização e, principalmente, os mais sustentáveis possíveis (SOARES, 2022).

3. DISCUSSÃO: Mecanismo de consenso ambiental (Proof-of-Eco-awareness, PoEa)

Segundo Barsano e Barbosa (2017), a gestão ambiental deve buscar o uso de práticas que tragam garantias de preservação e conservação da biodiversidade, reciclagem e redução dos impactos ambientais sobre os recursos naturais. Técnicas de recuperação de áreas degradadas, de reflorestamento e métodos para exploração sustentável de recursos naturais também são objetos da gestão ambiental. Segundo os autores, conta ainda com reflorestamento, estudos de riscos e impactos ambientais e reaproveitamento de resíduos inservíveis.

Assim, na criação de registros de ocorrências ambientais, para histórico ou gerenciamento de informações, com o uso da tecnologia *blockchain* para armazenamento definitivo e com segurança, tanto na qualidade dos dados quanto na veracidade, o mecanismo que autenticará esses tipos de registros deve se basear nesses conceitos de gestão ambiental.

Segundo Machado; Saccol (2016), a gestão ambiental começa com responsabilidade. Para se ter ou participar de um ambiente saudável, em qualquer lugar que se viva, as pessoas e as empresas sentem necessidade de fazer mais e melhor pelo bem-estar coletivo, é a responsabilidade social. A gestão por si começa com a responsabilidade e suas variantes criam um conjunto para gestão e gestão ambiental.

E são as pessoas e empresas envolvidas com esse princípio é que devem fazer parte como nó da rede *blockchain*, criando registros, mesmo que pouco impactantes, mas suficientes para delinear a história do lugar, do meio ambiente.

Seguindo o conceito da prova de autoridade (*Proof-of-Authority*, POA), em termos de identidade e reputação dos participantes, a validação de blocos com registros sensíveis pode ser fundamental para a qualidade dessas informações (KUNTZ, 2022).

Mas é importante destacar que muitas vezes um bloco, que é um conjunto de registros de ocorrências, algumas delas quase nada impactantes, mas tão sensíveis quanto qualquer outra, podem não precisar de alto nível de avaliação para consenso.

A proposta então pode estar na flexibilização dos blocos (tempo de gravação, tamanho, etc.), como os modelos apresentados anteriormente, cada qual com sua particularidade e necessidade, e justamente por conta da sua dinâmica, um consenso ambiental pode ter suas próprias regras.

Em muitos casos, por mais isolados que sejam, dependendo do lugar e do tamanho da ocorrência ambiental, a validação desses blocos deve se basear em critérios éticos e muitas vezes em dados técnicos e científicos. A reputação de quem avalia é primordial nesses tipos de ocorrências.

Outra questão é que validadores, participantes do registro de um *blockchain* ambiental não precisam ser necessariamente participantes integrados ao meio, como são os moradores e estudiosos geralmente. Algumas entidades que relatam ocorrências, participando apenas no momento do ato, como é o caso das entidades de suporte (defesa civil, bombeiros, polícia etc.), que observam, apoiam e registram, podem estar devidamente capacitadas a relatar, registrar e autenticar registros ambientais.

Vale observar que ocorrências ambientais se apresentam de diversas formas, por isso, nem sempre exigem uma observação ou dados amplamente técnicos ou até noticiados. Como exemplo, uma chuva nas margens de um rio, do qual o registro digital é feito, pode ser medido por um órgão meteorológico, apresentando dados de volume e com uma nota rápida de notícia da própria empresa.

Esse registro pode ser confirmado pelo método similar aos que integram a participação, em que a comunidade apenas confirma e o bloco é aceito. Mas cabe observar ainda

que esse tipo de processo pode ser automático, ou seja, sem suporte humano na validação, apenas dos algoritmos.

Por outro lado, uma chuva que leve a deslizamentos e enchentes, deva ser cuidadosamente registrada e para garantia da veracidade do bloco a que pertença, uma validação mais aprimorada deverá ser feita, com responsabilidades definidas e necessárias.

Ocorrências ambientais, que possam causar impactos, na sociedade ou no meio ambiente, precisam ser tratadas de forma diferente às ocorrências rotineiras. Por isso, dependendo do lugar, objeto do registro ambiental, cada ocorrência deve optar pela forma que o bloco será validado.

Na validação e gravação de blocos, em *blockchains* de criptomoedas, como o Bitcoin ou Ethereum por exemplo, há um prêmio definido, monetariamente. A cada bloco gravado, o nó de autenticação recebe em criptomoeda corrente pelo seu trabalho. Um estímulo para que o processo ocorra (CARAVINA, 2017).

Em um *blockchain* ambiental entende-se que pode não haver remuneração tão direta, pelo menos monetária direta, embora possa haver sim meios de ganho, como premiações, dependendo do lugar que ocorre o registro ambiental. Muitas vezes os ganhos podem estar apenas no registro em si, benefício para toda a comunidade. A sociedade.

Por outro lado, além do benefício do registro, empresas e governo podem se valer de créditos de carbono como pagamento por exemplo, pela prática de registro responsável ambientalmente, ou empresas podem se beneficiar de desconto de impostos. Ainda, as comunidades podem se beneficiar de serviços públicos ou fiscalização mais efetiva, um ganho de bem-estar valioso.

É importante observar que um registro ambiental exclusivo de um lugar, em uma rede *blockchain*, é tecnicamente eterno, para gerações e gerações. Entender que apenas a sua existência justifique seu funcionamento é utópico.

2.2. Criação, autenticação e gravação de blocos

As principais funções do mecanismo de consenso é a criação de blocos, a partir de registros de dados. Desses registros, quando autenticados, são gravados em definitivo, formando a rede *blockchain* (ZHANG et al., 2019).

Para a criação de blocos, baseado em registros de ocorrências ambientais, a dinâmica de criação de registros ou de blocos não é a mesma das criptomoedas. Não se tem um fluxo de caixa, mas um fluxo de vivência, de ocorrências. A biografia do lugar é o valor transacionado.

Segundo Zhang et al. (2019), em uma rede *blockchain*, o consenso é um mecanismo que ajuda a rede distribuída a estabelecer acordo sobre o valor de alguns dados compartilhados, que pode fornecer um estado consistente e confiável, mesmo no caso de um ou mais nós não serem confiáveis devido a corrupção ou falha de hardware. Por isso, deve-se basear o funcionamento do registro ambiental em processos que considerem algumas particularidades da dinâmica. É o que justifica a criação de um consenso exclusivamente ambiental, seguro e conscientemente ecológico. E consciência ecológica também trata de reconhecer o valor de quem entende profundamente do assunto.

Se uma ocorrência ambiental for registrada como uma simples chuva de final de tarde, em uma tranquila primavera, não significa que não há um órgão técnico para definir qual foi o volume dessa chuva ou então que isso não seja importante. E se o local for de dimensão que foge a questões

técnicas, testemunhas e evidências podem resolver. E, embora possa parecer simples essa chuva, dependendo do lugar a que se referem os dados, pode ser fundamental para explicar fenômenos futuros e constantes.

Ou ainda, pode não haver uma nota jornalística para todos os eventos cotidianos, que estão apenas sendo registrados (e sentidos) pelas comunidades, como a biografia natural do lugar. Pessoas podem simplesmente registrar: dia ensolarado, ventania, chuva, frio ou calor, onde um registro pode não ter qualquer significado, mas que um conjunto de dezenas ou centenas de dados como esse, podem significar um sinal para outras ocorrências maiores. Mas só a biografia já é algo importante.

Assim, com base nas particularidades dos algoritmos de consenso aqui estudados, das suas possibilidades e necessidades de gerenciamento de uma rede *blockchain*, estimam-se os critérios para os processos de criação, autenticação (validação), gravação e distribuição dos blocos na rede *blockchain*.

2.2.1. Seleção de Validadores

A validação baseada em grande parte dos mecanismos de consenso se dá de forma aleatória. Ou seja, nos casos que não há restrições específicas, apenas competição para solução de um quebra-cabeça e consequentemente um prêmio (PoW), onde ainda, em muitos casos a escolha se dá pela prova de estaca, de estar firme e participante da rede, PoS por exemplo (FAHIM et al., 2023). Isso significa que o validador precisa apenas entender que muitos dos dados, como datas, assinaturas e valores, devem fazer sentido. Não que isso signifique menos ou sem exigências para o conhecimento técnico, mas a dificuldade de se conseguir alguém capacitado para esse trabalho é grande.

Já para um *blockchain* com registros de ocorrências ambientais a dificuldade pode ser maior. Existem níveis de conhecimento técnico necessários para determinados registros. Como exemplo, um vendaval, com informações de triangulação de determinada área, velocidade dos ventos, nível pluviométrico, temperatura, entre outros que, apesar de dados precisos, devem ser comparados e avaliados com experiências mais qualificadas. É importante frisar também que os validadores de consenso ambiental devem ser escolhidos de duas formas:

- Forma interna: Usuários que têm interesse à rede e participam ativamente, contribuindo com informações ou dados. Exemplo: Comunidades do local monitorado pelo *blockchain*, pesquisadores, empresas que monitoram, entre outros.
- Forma externa: Usuários que podem estar ligados a usuários participantes ou convidados, como órgãos técnicos, defesa civil, polícia, bombeiros, entre outros, capacitados ou munidos de capacidade técnica.

A condição de capacidade técnica pode estar relacionada a necessidade do registro em questão. Como exemplificado anteriormente quanto à complexidade ou necessidade técnica da ocorrência.

Ainda, como critério de seleção, entende-se que o conceito de delegados e testemunhas, como o utilizado no mecanismo DPoS (*Delegated Proof of Stake*, tabela 4), terão melhores condições, tanto técnicas quanto de segurança, para a validação de blocos ambientais, no que se refere a participação e responsabilidades.

Segundo Fahim et al. (2023), esse mecanismo de consenso, DPoS, que é similar ao PoS, a seleção de

validadores é dividida em três grupos: testemunhas, delegados e trabalhadores. As testemunhas, validadores e criadores dos blocos, são escolhidos pelos participantes da rede *blockchain*. Quem tiver mais recurso (ativos digitais), terá maior peso no voto e na escolha dessas testemunhas.

Os delegados têm a função de governança da rede. Eles propõem e votam em mudanças de protocolo, atualizações e outras decisões importantes que afetam a dinâmica *blockchain*. Eles representam a opinião dos participantes da rede. Os trabalhadores têm a função de apresentar propostas à rede, desde mudança nos processos até mesmo algoritmos (FAHIM, 2023).

Em caso de registros mais simplificados de ocorrência, como uma chuva comum, ou a plantação de árvores por parte de uma comunidade, muitas das informações técnicas podem auxiliar os validadores com algoritmos e até mesmo com inteligência artificial. São as validações automáticas ou pré-validações. No registro, por exemplo, como observado anteriormente, algoritmos podem classificar a ocorrência de acordo com o GP Skinneriano, tabelas 1 e 2 ou pelo Cobrade (tabela 3). Dependendo da classificação, quanto maior a necessidade de análise técnica, maior o critério de seleção dos validadores. Essa classificação pode ser automática ou sugestiva.

Assim, similar ao DPoS, entende-se a necessidade de seleção de validadores para registros ambientais, baseado em Delegados e Testemunhas, porque estabelecem uma condição de responsabilidade e cuidados especiais, primordial em termos de meio ambiente.

Com isso, uma vez que os registros foram efetivados e classificados, os Delegados e Testemunhas teriam seus papéis divididos da seguinte forma:

- Testemunhas: Têm o papel de confirmar as informações registradas. Podem ser selecionadas da própria rede ou indicadas por participantes. Como um representante da defesa civil por exemplo, não faz parte do nó, mas está monitorando a ocorrência, portanto, pode ser testemunha. As testemunhas podem ser fixas ou selecionadas aleatoriamente, dependendo da classificação da ocorrência.
- Delegados: São escolhidos por votos dos participantes da rede. Podem ser técnicos participantes diretos ou indiretos, mas com qualificação e identidade evidenciada. Os delegados têm a função de monitorar a atividade de todos os participantes, inclusive das testemunhas. Também, seria o papel deles determinar regras especiais para a gravação do bloco e propor dinâmicas específicas, como a condição de um registro ser apagado ou ter continuidade e blocos futuros. Os delegados podem ser pré-definidos, dependendo do lugar a que se aplica, ou definidos por demanda de trabalho. Entende-se a necessidade de um conjunto pré-cadastrado de Delegados, para atuarem por rodízio.

Para ficar mais claro o papel desses participantes, simulando a forma como seriam selecionados (delegados e testemunhas), será apresentada uma sequência de coleta de informações como um exemplo do processo de registros de ocorrências ambientais, de um suposto *blockchain* ambiental, em uma Unidade de Conservação de uma barragem. Essa UC inclui a barragem e o entorno de natureza:

- 1) Os participantes desse *blockchain* são pessoas e empresas que vivem no entorno, a companhia de saneamento que acompanha, um centro de monitoramento de clima via satélite e um centro de pesquisa de biodiversidade.

Participam ainda professores pesquisadores de uma Universidade regional.

- 2) Semanalmente, como foi programado, o algoritmo de consenso seleciona testemunhas entre os participantes da rede. O papel deles será o de observar os registros criados e seus respectivos conteúdo.
- 3) Dos usuários dessa rede, aqueles que mais participam dela ativamente, terão maiores pontos para votar em Delegados.
- 4) Os delegados que serão escolhidos, são candidatos, devidamente identificados para essa função.
- 5) O algoritmo definiu que eles permanecerão como delegados por até dois anos.
- 6) Os delegados que não participarem por duas demandas diretas, serão substituídos por novos candidatos.
- 7) Os delegados têm reputação e notoriedade, ou seja, são técnicos especializados na validação dos registros (conforme classificação) ou indicarão profissionais para isso, sob suas responsabilidades.
- 8) O interesse em ser delegado e assumir responsabilidades, vem da premiação. Cada bloco gravado estabelece um prêmio ao(s) delegado(s) responsáveis.
- 9) O prêmio estabelecido pela rede *blockchain*, em parceria com o governo federal, poderá ser por isenção fiscal, dedução no Imposto de Renda, entre outros incentivos fiscais possíveis por regulamentação.

Para ilustrar o processo de validação, será apresentada uma simulação de ocorrências do lugar desse *blockchain*, demonstrando a atuação dos membros do algoritmo de consenso:

- 1) Em uma manhã, um vendaval é registrado e percebido por moradores. Um registro ambiental é proposto por um morador local.
- 2) O registro passa por outros moradores que confirmam ou complementam as informações. Um algoritmo verifica se há mais de um registro proposto, da mesma ocorrência.
- 3) O vendaval derruba árvores e causa um transbordamento da barragem. A defesa civil e o corpo de bombeiros são alertados. A rede de notícias também é avisada.
- 4) A empresa de monitoramento de clima faz a triangulação e anota os dados durante a ocorrência. Uma nova ocorrência é registrada, o transbordamento da barragem.
- 5) A defesa civil constata alagamentos e inicia a retirada dos moradores. Um novo registro é proposto com uma terceira ocorrência, a enchente.
- 6) A empresa de clima anota as informações complementares, bem como outros participantes fazem suas notas.
- 7) Representantes da defesa civil, do corpo de bombeiros, entre outros técnicos fazem apontamentos que ajudarão na definição das classificações da ocorrência (Cobrade, GP Skinner etc.).
- 8) Alguns dados complementares e os próprios registros, inclusive de classificação das ocorrências, podem ser feitos previamente por algoritmos ou com auxílio de IA.
- 9) Uma vez terminados os registros criados pela ocorrência inicial (chuva, seguida de vento, de vendaval, transbordo, enchente etc.), os registros ficam em espera para serem validados.

- 10) Dezenas de registros foram criados e os repetidos unificados, ficando um para cada ocorrência específica. Algoritmos já fazem seleção e validação de dados como: data e hora consistentes, valores e medidas coerentes, triangulação etc.
- 11) Registros automáticos são feitos a partir das empresas de monitoramento e de totens ambientais distribuídos ao longo da UC, coletando em tempo real informações diversas, como temperatura, umidade, pressão atmosférica, servindo de suporte aos registros criados etc.
- 12) Há um tempo de espera para confirmação automática de dados registrados. Os registros aguardam ainda apontamentos oficiais dos órgãos de suporte, como defesa civil e corpo de bombeiros, em fase de relatório.
- 13) Um algoritmo se encarrega de separar registros com dados suspeitos ou incompletos de registros que ainda aguardam fechamento e registros completos.
- 14) Os registros completos são verificados. Inicia-se a seleção de delegados disponibilizados para as ocorrências.
- 15) Os delegados (ou indicados) fazem a verificação das informações. As testemunhas participam da auditoria.
- 16) Há registros com Cobrade e GP Skinner nas ocorrências, definindo profissionais específicos para observar os registros.
- 17) O algoritmo sugere possíveis eliminações, registros que necessitam complemento, registros completos e registros que podem ficar em aberto até a conclusão da ocorrência.
- 18) Inicia-se a fase de verificação desses registros por parte dos delegados e testemunhas. Após, será feita a criação do bloco, assinatura digital do bloco (delegados), adição e gravação na *blockchain*.
- 19) Após, é registrada experiência do validador e certificação pelo trabalho efetuado. Há possibilidade de ganho de créditos e de currículo de trabalho. Trata-se de um currículo de participação ambiental, com registro em *blockchain*, pela eternidade.
- 20) A certificação também comprova e mensura a participação dos delegados, possibilitando a proposta de benefício fiscal.

Como observado nessa simulação, o processo de seleção de validadores está condicionado a movimentos do meio ambiente, da natureza e até da sociedade, não como um fluxo de valores e datas essencialmente, são ocorrências que levam a outras ocorrências. É um ciclo de vida, da natureza, não de vontade. Critérios específicos de cada lugar de funcionamento do *blockchain*, podem ser definidos conforme a necessidade, como exemplificado no período de troca de delegados ou da falta de resposta nas demandas.

Assim, compreende-se que o processo de seleção de validadores para registros ambientais, com uso da tecnologia *blockchain*, depende essencialmente dos seguintes critérios:

- a) As ocorrências, formas e tipos, dependem do lugar a que se destina o registro ambiental.
- b) Cada lugar pode apresentar uma particularidade, sendo a mais comum, o fato de que uma ocorrência ambiental pode se transformar em várias. Chuva, vento e vendaval, por exemplo, são três eventos diferentes e um pode ser a causa do outro.
- c) Registros ambientais podem ser feitos muitas vezes de forma automática, por algoritmos devidamente calibrados e munidos de tecnologia apropriada (medidores, sensores etc.).

- d) A seleção de delegados, como validadores, se faz necessária para aprovar registros que exijam um olhar técnico e especializado.
- e) A classificação das ocorrências, sejam elas por atribuições de órgãos fiscalizadores, de desastres ou de identificação, são necessárias, para, ainda na seleção, definirem quais os processos que farão parte da validação.
- f) Ainda na seleção, um prêmio, benefício ou certificação deve ser definido, para estímulo e interesse da rede *blockchain*.
- g) Cada tipo de lugar ambiental, com suas características e particularidades, podem definir os ganhos possíveis para validadores que apostam suas reputações, mas em todos os casos (lugares), pelo menos, um certificado de participação, documentado eternamente na *blockchain*, para a posteridade, devem ser criados.

2.2.2. Criação do Bloco

O bloco é o conjunto de registros que foram criados. Isso significa que um bloco temporário ou bloco candidato (candidato a gravação definitiva) já está disponível. Foi por causa dele que ocorreu o processo de seleção dos validadores.

O que ocorre é que a criação do bloco trata do definitivo, aquele que será fechado e gravado e nunca mais poderá ser alterado. A partir disso, pode ser entendido o porquê dos critérios, alterar nunca mais não é exagero.

O bloco provisório, aquele que reuniu os registros das ocorrências e que foram classificados para a validação, servirá de base para a seleção de delegados antes da gravação final. Este bloco provisório pode ser revisto em cada registro, corrigido ou alterado, e disponibilizados para todos os nós da rede *blockchain*, com conhecimento que estão em processo de validação. Isso significa que existem dois status de cada registro proposto, aberto e fechado.

O estado aberto, significa que o registro está em processo de revisão e que ainda não será liberado para validação e gravação definitiva. Esse registro pode ser eliminado antes de ser completado, dependendo de critérios estabelecidos, como regras e prazo de fechamento de registros.

Existe ainda a possibilidade de registros serem sinalizados para uma continuidade futura. Ocorrências ambientais podem durar mais tempo que outras, ou deixarem heranças para continuidade ou criação de outras ocorrências. Mas esse processo deve ser parametrizado na arquitetura da rede.

Uma vez verificados os registros pelos delegados, sem que haja contestação pelas testemunhas, o bloco passa a ser definitivo. É o início da validação, autenticação e gravação final. Neste processo, informações coletivas, como o cabeçalho do bloco (informações particulares e técnicas do bloco, como data, hora, tamanho etc.) e dados do processo de criação do bloco são criados. Dados documentais.

2.2.3. Validação, Autenticação e Gravação do Bloco

Segundo Kuntz (2022), o processo de validação e autenticação é o processo de revisão e verificação dos blocos. Serão feitas verificações padrão em *blockchains*, como *hashes*, assinaturas digitais, entre outras específicas da tecnologia. Além, podem existir registros a serem anulados, sem a necessidade de perder o bloco inteiro. Também existe a condição do bloco ficar em espera por um tempo determinado, antes de serem fechados, caso as ocorrências ainda estejam em andamento e em evidência técnica. As regras dependerão das ocorrências e do tipo de lugar monitorado.

O processo de verificação e auditoria dos registros, uma vez classificados, pode ser feita por um conjunto de profissionais, orientado pelos delegados ou por eles mesmos. Desses participantes, podem fazer parte ainda a defesa civil, polícia, bombeiros, jornalistas, estudiosos, entre outros.

Os convidados devem ser escolhidos para auditoria ativa ou passiva. Ativa, por relatarem seus pareceres diretamente, participando da rede. Passivamente, por repassarem seus pareceres a representantes da rede.

As testemunhas podem ser de qualquer nível, e têm o papel de verificar o processo de validação.

Antes ainda da criação do bloco, podem ser selecionados pontos-chaves (campos de registro) para uma pré-avaliação, do próprio algoritmo, como sugestão de pontos que devem ser observados, ou de pontos críticos que mereçam atenção cuidadosa nesta fase. O uso de Inteligência artificial pode ajudar em determinados lugares.

Os pontos-chaves para avaliação variam conforme o tipo de lugar, mas dados básicos, principalmente técnicos, podem ser validados por coerência do próprio algoritmo, como, por exemplo, dizer que a temperatura foi de -5 graus, em um parque brasileiro da cidade de Salvador-BA, em pleno verão. Uma tabela de critérios básicos do lugar pode auxiliar nesse processo.

Os delegados se encarregam de completar as lacunas necessárias. Como dados de triangulação, quando uma

ocorrência de deslizamento, em uma área, do *blockchain* de um parque ecológico por exemplo, ou quantidade de chuva medida. Normalmente esses dados devem ser preenchidos no formulário de criação de cada registro. Dados técnicos faltantes nos registros (quantidade de chuva, velocidade do vento, triangulação etc.), que não foram registrados, nem puderam ser complementados pelos delegados, são passíveis de serem cancelados.

Uma vez auditado e autenticado o bloco, em que todos os registros foram liberados, é completado o cabeçalho do bloco, com informações típicas e de segurança. O bloco só é finalizado uma vez que todos os registros foram auditados e liberados para os demais nós.

A gravação é irreversível, mas em se tratando de registro de ocorrências e não um simples processo de transferência de números, registros podem ser complementados, ou agregarem notas de correção, em blocos futuros. Um algoritmo paralelo pode se encarregar de controlar essas chaves de ligação e garantir a relação entre esses registros de blocos diferentes. Na Figura 3 a seguir é ilustrado um possível processo de criação dos dados e registros do bloco 1, levando em conta a continuidade de ocorrências (herança). Os participantes preenchem o formulário, dentro de suas dimensões determinadas e encaminham para montagem do bloco (bloco 1 no exemplo).

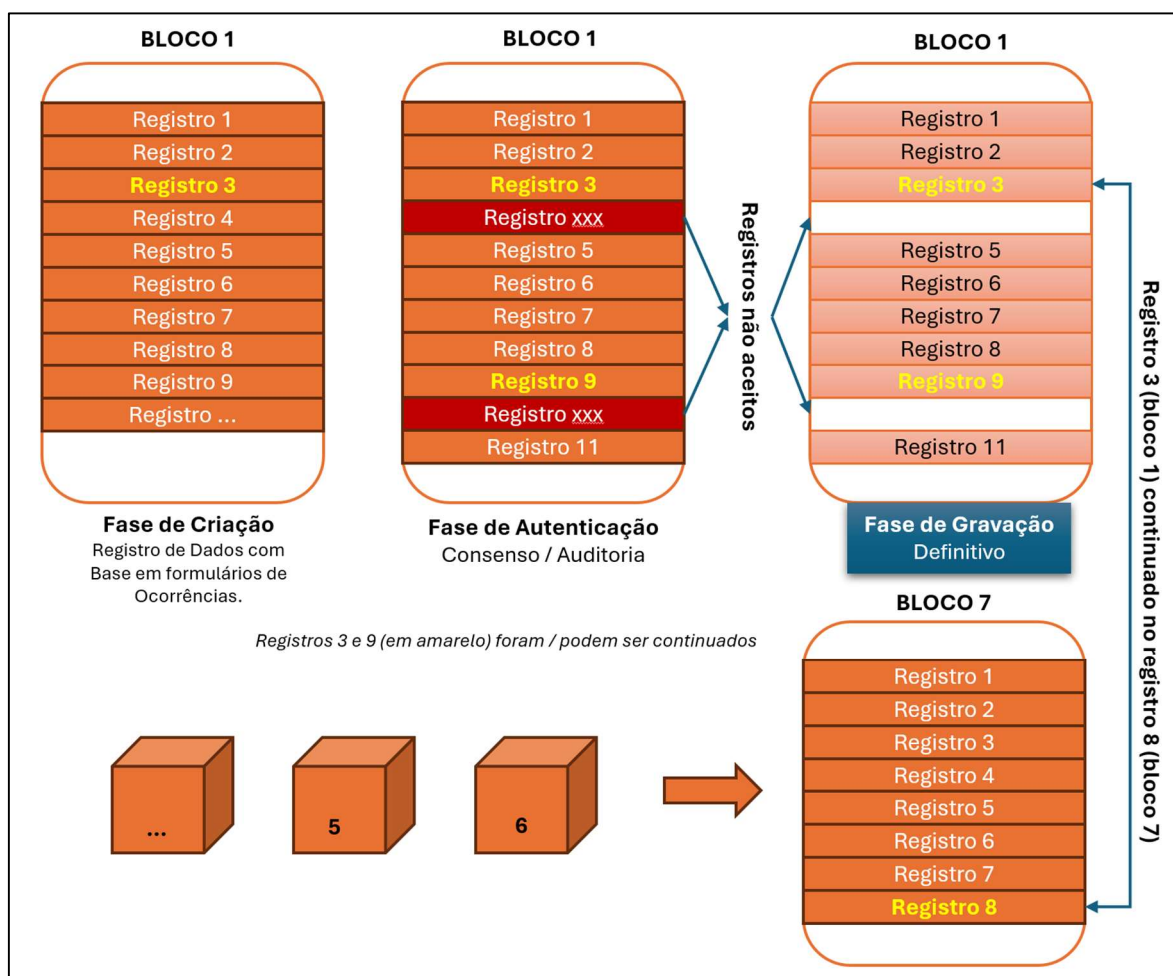


Figura 3. Simulação de Registro, Criação, Consenso e Gravação dos Blocos no *Blockchain* (Com registro herança).

Figure 3. Simulation of Registration, Creation, Consensus, and Recording of Blocks on the *Blockchain* (With Inheritance Registration).

Na fase seguinte, o bloco é criado com esses registros e passa pelo consenso ou auditoria. Como pode ser observado na Figura 3, registros 4 e 10 foram eliminados por faltarem dados que não puderam ser complementados, ou por divergências, incoerências. Nesta fase ainda são marcados os registros 3 e 9 como passíveis de continuação nas ocorrências ou de herança direta (como alagamentos por exemplo). Na fase de gravação do bloco, os registros 4 e 10 da ilustração são desconsiderados. O bloco é gravado. Como exemplificado na ilustração, seis blocos gravados em definitivo depois, aparecem evidências no registro 8 do bloco 7, como uma consequência ligada ao registro 3, ainda do bloco 1.

O mecanismo de ecoconsciência pode ter em seu algoritmo o controle dessas heranças. Conforme relatado, trata-se de registros ambientais, de ocorrências ao meio ambiente, à seres vivos e à diversidade, a continuidade é certa em grande parte das ocorrências.

4. CONSIDERAÇÕES

Ocorrências ambientais podem gerar incidentes e causar impactos, que atingem a vida e o meio ambiente, no presente e no futuro. Ocorrências positivas, que trazem um ganho ou aprendizado, ou negativas, que geram desconforto ou consequências irreversíveis.

Para a questão técnica do mecanismo de consenso, o algoritmo, o processo estabelecido de funcionamento se compara aos estudados, segundo a tabela 4, considerando que a seleção de validadores é muito pouco aleatória, condição necessária pela qual se espera de registros ambientais.

Ainda, da nulidade de concentração de poder e de possibilidade de controle por parte de grupos, dado o giro necessário de delegados. Escalabilidade alta, pelo uso baixo de recurso de processamento de rede. O que caracteriza ainda uma condição de preservação de energia, ou altíssima sustentabilidade.

Foi possível perceber também que cada registro, por mais simples que pareça e mesmo que permitido ser elaborado por perspectivas leigas, um mecanismo de consenso preparado não permitiria a gravação desses dados de forma leviana ou de exageros. Ou até mesmo de carência de dados.

De qualquer forma, a perspectiva de todos que podem participar de um registro de informações, uma biografia ambiental, com o uso da tecnologia *blockchain*, é necessária, dimensionando de forma ampla uma ocorrência, da mais simples até a mais complexa.

A visão de quem vive no entorno da área de registro, dos órgãos que monitoram, dos que noticiam e que dão suporte à vida, são importantes no processo de registro e validação de dados. Dos estudiosos e estudantes, que se integram no dia a dia e que observam e criam ocorrências, também definem a importância e critérios de validação desses blocos.

Ainda, a classificação das ocorrências, não apenas de desastres, como indica o Cobrade, mas de qualquer tipo de ocorrência. Uma identidade com objetivo de registro digital e auxílio na validação, mesmo que de uma simples plantação de muda, até um incêndio florestal.

Outra questão é a de seleção de validadores, a postura de delegados, responsáveis por suas participações e com notável conhecimento. Das testemunhas que cancelam os processos de autenticação dos dados. Uma via de troca a premiação de

agentes que arriscam suas reputações e entregam suas competências, para concluir os blocos.

O PoEa representa não apenas uma proposta técnica, mas um novo paradigma de validação de dados ambientais sensíveis, orientado por princípios éticos, ecológicos e colaborativos.

5. CONCLUSÕES

Este estudo apresentou bases de dados de registros de uma das principais condições que justificam um mecanismo de consenso para ocorrências ambientais, o *Proof-of-eco-awareness* (PoEa), ou prova (validação) de consciência ecológica, é a complexidade que a vida gera em cada ocorrência.

Para se chegar a esse estudo, diversas etapas de pesquisa possibilitaram a transformação de informações difíceis de serem mensuradas, por serem dinâmicas e de constantes mudanças, além das próprias particularidades, que a natureza e os seres vivos possuem.

A possibilidade de classificação de ocorrências ambientais, além das tipificadas e enquadradas em desastres, permitiu determinar uma lógica para seleção de validadores, bem como de processos para criação e gravação de blocos de dados, com o uso de uma tecnologia *blockchain*.

Embora cada lugar que se crie um registro ambiental necessite de uma particularidade, ou especificidade para os campos de registros, o mecanismo de consenso para um *blockchain* ambiental, ou uma prova de consciência ecológica, permitirá que o processo ao qual alimenta a rede, seja feita de forma particular e consciente, como se espera para o meio ambiente.

Assim, espera-se que esse mecanismo de consenso possa ser utilizado em um *blockchain* para registro de ocorrências ambientais, para monitoramento e gestão de lugares, como florestas, UCs, áreas de preservação, bairros, cidades, praças, ou seja, todo e qualquer lugar que exista natureza e sociedade em um meio ambiente.

6. REFERÊNCIAS

- ALVARENGA, A. L. **DeFi - Criptomoedas e as Finanças Descentralizadas**. Disponível em: <<https://ler.amazon.com.br/?asin=B099P33ZMC>>. Acessado em: 07 Jul. 2021.
- Banco Central do Brasil – Bacen. **Drex – Digital Brazilian Real**. Disponível em: <https://www.bcb.gov.br/en/financialstability/drex_en>. Acessado em: 06 Jun. 2024.
- BARSANO, P. R.; BARBOSA, R. P. **Gestão Ambiental**. São Paulo: Editora Saraiva, 2017. 128p.
- BRASIL. MDR - Ministério da Integração e do Desenvolvimento Regional. **Classificação e Codificação Brasileira de Desastres (COBRADE)**. Disponível em: <https://www.gov.br/mdr/pt-br/centrais-de-conteudo/publicacoes/protecao-e-defesa-civil-sedec/DOCU_cobrade2.pdf>. Acessado em: 03 Mar. 2024.
- BRASIL. Ministério do Meio Ambiente (MMA). Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA). **Resolução CONAMA N° 1, de 23/01/1986**. Dispõe sobre critérios básicos e diretrizes gerais para a avaliação de impacto ambiental. Disponível em: <<https://www.ibama.gov.br/sophia/cnia/legislacao/MM/A/RE0001-230186.PDF>>. Acessado em: 20 Abr. 2022.

- BRASIL. Presidência da República. **Lei 9.795 de 27 de abril de 1999**. Institui a Política Nacional de Educação Ambiental. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/19795.htm>. Acessado em: 07 Jun. 2021.
- CARAVINA, A. **Bitcoin e Altcoins – fácil, prático e completo**. eBook Kindle, 2017. 1534p.
- CARREIRA, G.; MELO, J.; ROQUE, L. **Real Digital e a utilização de Hyperledger Besu na AWS**. Disponível em: <<https://aws.amazon.com/pt/blogs/aws-brasil/real-digital-e-a-utilizacao-de-hyperledger-besu-na-aws/>>. Acessado em: 30 Nov. 2023.
- CARVALHO, F.; PAULA, L. F. R. de; SICSÚ, J.; SOUZA, F.; STUDART, R. **Economia Monetária e Financeira - Teoria e Política**. São Paulo: Elsevier Educacional, 2021. 408p.
- CAVAGNARI, D. W.; ANTQUEIRA, L. M. O. R. Balanço ambiental Skinneriano: reforço e punição como ganhos e perdas e registro digital. **Nativa**, v. 11, n. 3, p. 384-395, 2023. <https://doi.org/10.31413/nat.v12i1.16781>
- CAVAGNARI, D. W.; ANTQUEIRA, L. M. O. R. Registros Digitais de Ocorrências Ambientais para o Brasil: Desastres Naturais e Tecnológicos. **Nativa**, v. 12, n. 1, p. 102-117, 2024. <https://doi.org/10.31413/nat.v12i1.16781>
- CAVAGNARI, D. W. Cryptocurrency e uma nova economia. In: **Blockchain e Criptomoedas**. Curitiba: Intersaberes, 2024. 150p.
- DA PEREIRA, A. C.; SILVA, G. Z.; CARBONARI, M. E. E. **Sustentabilidade, responsabilidade social e meio ambiente**. São Paulo: Editora Saraiva, 2011. 216p.
- DIAS, R. **Gestão ambiental - responsabilidade social e sustentabilidade**. 3 ed. Rio de Janeiro: Atlas, 2017. 248p.
- ETHEREUM.org. **The Merge**. Disponível em: <<https://ethereum.org/en/roadmap/merge/>>. Acessado em: 30 Jun 2023.
- FAHIM, S.; RAHMAN, S. M. K.; MAHMOOD, S. **Blockchain: A Comparative Study of Consensus Algorithms PoW, PoS, PoA, PoV**. **International Journal of Mathematical Sciences and Computing**, v. 9, n. 3, p. 46-57, 2023. <https://doi.org/10.5815/ijmsc.2023.03.04>
- FERDOUS, Md. S.; CHOWDHURY, M. J. M.; HOQUE, M. A.; COLMAN, A. **Blockchain Consensus Algorithms: A Survey** *ArXiv*, e2001.07091, p. 1-39, 2020. Disponível em: <<https://arxiv.org/pdf/2001.07091>>. Acessado em: 07 Mai. 2025.
- GIL, A. C. **Como elaborar projetos de pesquisa**. 7 ed. Rio de Janeiro: Atlas, 2022. 208p.
- HOLZER, W. O conceito de lugar na geografia cultural-humanista: uma contribuição para a geografia contemporânea. **Geografia**, v. 10, p. 113-123, 2003.
- HUANG, Q.; CERVONE, G.; ZHANG, G. A cloud-enabled automatic disaster analysis system of multi-sourced data streams: An example synthesizing social media, remote sensing and Wikipedia data. **Computers, Environment and Urban Systems**, v. 66, p. 23-37, 2017. <https://doi.org/10.1016/j.compenvurbsys.2017.06.004>
- KUNTZ, J. **Blockchain Ethereum – fundamentos de arquitetura, desenvolvimento de contratos e aplicações**. São Paulo: Casa do Código, 2022. 295p.
- LAKATOS, E. M.; MARCONI, M. de A. **Fundamentos de metodologia científica**. 5 ed. São Paulo: Atlas, 2003. 312p.
- LANSITI, M.; LAKHANI, K. R. **The truth about Blockchain**. Disponível em: <<https://hbr.org/2017/01/the-truth-about-blockchain>>. Acessado em: 05 Dez. 2020.
- MACHADO, V. de S.; SACCOL, J. **Introdução à gestão ambiental**. Porto Alegre: SAGAH, 2016. 114p.
- MARCHESIN, K. B. K. **Blockchain e Smart Contracts: As Inovações no Âmbito do Direito**. São Paulo: Editora Saraiva, 2022. 114p.
- MARCONI, M. de A.; LAKATOS, E. M. **Metodologia Científica**. 8 ed. Rio de Janeiro: Atlas, 2022. 256p.
- MASSADAR, R. **Mineração de criptomoedas: tudo o que você precisa saber**. Disponível em: <<https://financeone.com.br/mineracao-de-criptomoedas-tudo-precisa-saber/>>. Acessado em: 11 Jul. 2021.
- NORTON, T.; ROHWER, M. **O potencial do Blockchain para a Sustentabilidade**. Disponível em: <<https://www.thomsonreuters.com.br/pt/juridico/blo/g/o-potencial-do-blockchain-para-a-sustentabilidade.html>>. Acessado em: 11 Ago. 2020.
- OLIVEIRA, M. T. de; REIS, L. H. A.; MEDEIROS, D. S. V.; CARRANO, R. C.; OLABARRIAGA, S. D.; MATTOS, D. M. F. **Blockchain reputation-based consensus: A scalable and resilient mechanism for distributed mistrusting applications**. **Computer Networks**, v. 179, e107367, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.comnet.2020.107367>
- PÁDUA, E. M. M. **Metodologia da pesquisa: abordagem teórico-prática**. 3 ed. Campinas-SP: Papirus, 2017. 144p.
- PHILIPPI JR, A. (Coord). **Coleção Ambiental - Gestão de natureza pública e sustentabilidade**. Barueri: Manole, 2012. 1108p.
- PRODANOV, C. C.; FREITAS, E. C. de. **Metodologia do Trabalho Científico: métodos e técnicas da pesquisa e do trabalho acadêmico**. 2 ed. Novo Hamburgo: Feevale, 2013. 276p.
- SIMEPAR_Sistema de Tecnologia e Monitoramento Ambiental do Paraná. **Boletim Climatológico**. Disponível em: <http://www.simepar.br/prognosweb/simepar/timelin e/boletim_climatologico>. Acessado em: 07 Jul. 2021.
- SOARES, M. J. P. **Ethereum – Breve História e Suas Possibilidades**. eBook Kindle, 2022. 24p.
- STEPHEN, A. **Worldchanging: a user's guide for de 21st century**. New York: Harry N. Abrams Edition Unstated edition, 2008. 600p.
- TAPSCOTT, D. **Blockchain Revolution**. São Paulo: SENAI, 2017. 392p.
- WALKER, W. **Blockchain: Aplicações no Mundo Real e Compreensão: Como a Blockchain Pode Ser Aplicada em Seu Mundo**. eBook Wayne Walker, 2021. 42p.
- WILLIAM, S. **Criptografia e segurança de redes: princípios e práticas**. 6 ed. São Paulo: Pearson Education do Brasil, 2015. 560p.
- WORLD ECONOMIC FORUM - PWC. **Fourth Industrial Revolution for the Earth Series. Building block(chain)s for a better planet - September 2018**. Disponível em: <<https://www.pwc.com/gx/en/sustainability/assets/bl ockchain-for-a-better-planet.pdf>>. Acessado em: 19 Jul. 2021.

- YU, B.; LIU, J.; NEPAL, S.; YU, J.; RIMBA, P. Proof-of-QoS: QoS based *blockchain* consensus protocol. **Computers & Security**, v. 87, e101580, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.cose.2019.101580>
- ZHANG, P.; SCHMIDT, D. C.; WHITE, J.; DUBEY, A. Chapter Seven - Consensus mechanisms and information security Technologies. **Advances in Computers**, v. 115, p. 181-209, 2019. <https://doi.org/10.1016/bs.adcom.2019.05.001>

Contribuição dos Autores: D.W.C. – conceituação, pesquisa, metodologia, coleta de dados, correção escrita, leitura científica, conceituação, submissão, redação (revisão e edição) e publicação; L.M.O.R.A. – orientadora, supervisão, revisão. Todos os autores leram o artigo na sua versão final e aprovaram a sua publicação.

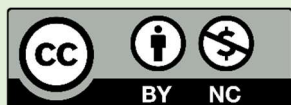
Dedicatória do primeiro autor: “Em memória de Dilma Adelaide, que partiu em 07 de maio de 2025. Sua presença amorosa e incansável dedicação marcou profundamente minha trajetória”.

Revisão por comitê institucional: *Não se aplica.*

Comitê de Ética: *Não se aplica.*

Disponibilização de dados: Os dados do estudo podem ser obtidos mediante solicitação ao autor correspondente, via e-mail.

Conflito de Interesse: Os autores declaram que não existem conflitos de interesse com outros pesquisadores ou instituições.



Copyright: © 2024 by the authors. This article is an Open-Access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons **Attribution-NonCommercial (CC BY-NC)** license (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).