

Abordagens de Monitoramento Estruturado em Camadas para Redes Blockchain

Mateus Bastos¹, Alan Veloso¹, Jeffson Sousa^{1,2}, Diego Abreu¹, Antônio Abelém¹

¹ Universidade Federal do Pará (UFPA)
Belém – PA – Brasil

²Centro de Pesquisa e Desenvolvimento em Telecomunicações (CPQD)
Campinas – SP – Brasil

mateus.araujo@icen.ufpa.br, aveloso@ufpa.br, jcsousa@cpqd.com.br
diego.abreu@itec.ufpa.br, abelem@ufpa.br

Abstract. This work presents a structured approach to blockchain network monitoring, organizing metrics into a modular layered architecture, ranging from the application layer to the data layer. The objective is to define and detail specific metrics for each layer, aiming to enhance the performance and reliability of blockchain networks. The results include a comparative analysis between the proposed layered model and existing blockchain network monitoring approaches in the literature. The research highlights the importance of efficient monitoring to make blockchain networks more secure, scalable, and sustainable, while also suggesting improvements to meet future demands.

Resumo. Este trabalho apresenta uma abordagem estruturada para o monitoramento de redes blockchain, organizando as métricas em uma arquitetura modular em camadas, desde a aplicação até a camada de dados. O objetivo é definir e detalhar métricas específicas para cada camada, visando aprimorar o desempenho e a confiabilidade das redes blockchain. Os resultados incluem uma análise comparativa entre o modelo em camadas proposto e abordagens de monitoramento existentes na literatura. A pesquisa ressalta a importância de um monitoramento eficiente para tornar as redes blockchain mais seguras, escaláveis e sustentáveis, além de propor melhorias para atender a demandas futuras.

1. Introdução

O avanço da tecnologia blockchain [Di Pierro 2017] na indústria demanda um monitoramento eficiente para garantir segurança, integridade e desempenho [Bastos et al. 2024]. Assim como em sistemas computacionais complexos estruturados em camadas, como o modelo ISO/OSI [Kurose e Ross 2020], a blockchain também é organizada em camadas, desde a física até contratos inteligentes e incentivos econômicos [Bhutta et al. 2021, Yuan e Wang 2016, Xie et al. 2019], facilitando a manutenção e escalabilidade. No entanto, o monitoramento não é uniforme entre as camadas, como em redes de computadores tradicionais [Ghafir et al. 2016], exigindo abordagens específicas para cada nível.

Diante dos desafios, como a ausência de módulos especializados e a falta de padronização de métricas, este trabalho expande a pesquisa de Bastos et al. [Bastos et al. 2024], propondo uma abordagem estruturada para definir e analisar métricas específicas para

cada camada da arquitetura blockchain, permitindo uma identificação mais precisa de deficiências e possibilitando ajustes direcionados para aprimorar o desempenho, escalabilidade e confiabilidade.

O artigo segue estruturado dessa forma: Seção 2 define a metodologia; a Seção 3 define blockchain em camadas; a Seção 4 define as métricas por camadas; a Seção 5 discute os resultados; e a Seção 6 conclui e mostra perspectivas futuras.

2. Metodologia

O estudo foi realizado em quatro etapas: (1) Coleta de artigos sobre arquitetura blockchain em bases como IEEE Xplore, Scopus, etc. (2015-2025); (2) Análise das camadas e suas definições; (3) Revisão e categorização de trabalhos prévios da equipe, alinhando-os às camadas de blockchain definidas; (4) Definição e análise de métricas por meio de uma tabela de categorização.

3. Definição de Blockchain em Camadas

Nesta seção são especificadas as camadas analisadas nos estudos sobre arquitetura de redes blockchain, destacando suas divisões e áreas de aplicação.

Bhutta et al. [Bhutta et al. 2021] apresentam uma visão abrangente da evolução da blockchain, explorando camadas como dados, rede, consenso, contrato e aplicação, com foco em algoritmos de consenso. Yuan e Wang et al. [Yuan e Wang 2016] propõem um modelo de sete camadas, da física à aplicação, destacando o uso da blockchain em transporte, transações e automação com contratos inteligentes.

Cui et al. [Cui et al. 2017] exploram sua aplicação em sistemas de resposta à demanda de energia, garantindo imutabilidade e transparência. Xie et al. [Xie et al. 2019] estudam a blockchain em cidades inteligentes, focando em descentralização, segurança e automação em transporte, saúde e redes elétricas.

Todos os estudos, exceto [Yuan e Wang 2016], convergem para uma divisão estrutural em camadas, facilitando a compreensão das arquiteturas blockchain.

3.1. Blockchain

A blockchain é um livro-razão descentralizado e imutável que organiza blocos de dados em ordem cronológica, utilizando algoritmos de consenso distribuído e contratos inteligentes para garantir segurança e automação [Di Pierro 2017].

A **camada de aplicação** conecta a blockchain ao mundo real, permitindo casos de uso como serviços financeiros, e transporte [Yuan e Wang 2016, Bhutta et al. 2021]. Já a **camada de contratos** inteligentes que automatizam ações com base em condições predefinidas, permitindo a execução de acordos sem intermediários [Yuan e Wang 2016].

A **camada de incentivo** introduz recompensas econômicas para os nós que validam blocos, garantindo participação ativa na rede [Yuan e Wang 2016]. A **camada de consenso** utiliza algoritmos como *Proof-of-Work* (PoW) e *Proof-of-Stake* (PoS) para validar dados, assegurando confiança e segurança na rede [Xie et al. 2019, Yuan e Wang 2016].

A **camada de rede** estabelece a comunicação ponto a ponto (P2P) entre os nós, permitindo a propagação e sincronização dos blocos de dados [Xie et al. 2019]. Por fim,

a **camada de dados** estrutura e protege as informações com criptografia, *hash* e árvores de Merkle, garantindo a integridade e verificação rápida dos dados [Cui et al. 2017].

Em resumo, as camadas de uma blockchain operam de maneira interconectada para garantir segurança, descentralização e eficiência. Diante disso, a Figura 1 exemplifica de forma generalizada a infraestrutura das camadas de blockchain.

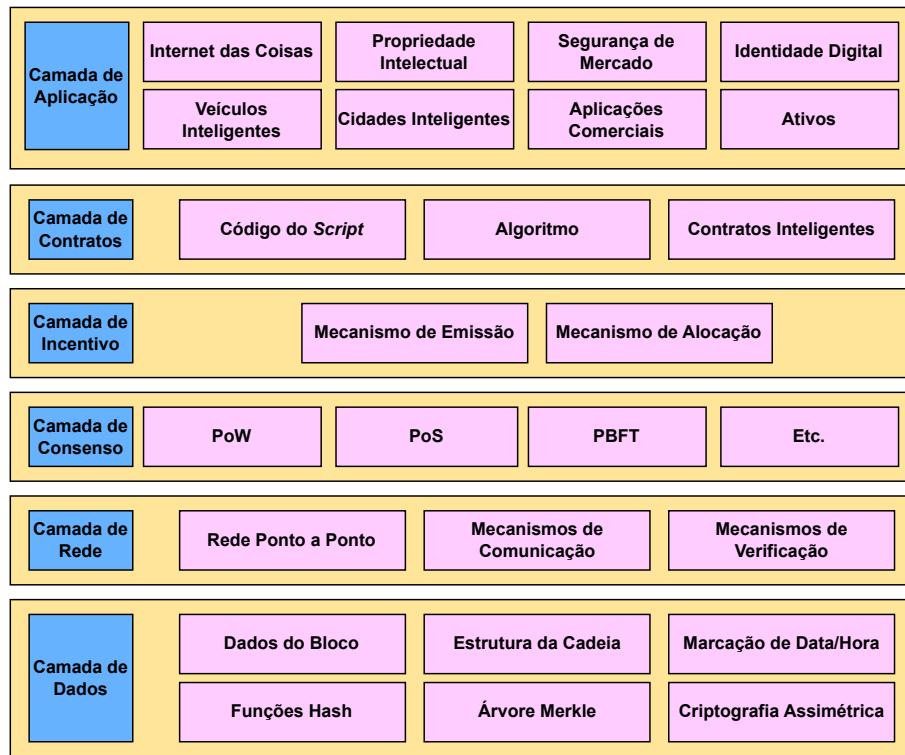


Figura 1. Estrutura de Blockchain em Camadas.

4. Resultados

A seção de resultados apresenta as métricas de monitoramento para redes blockchain, com base no trabalho de Bastos et al. [Bastos et al. 2024] e em outras referências externas.

4.1. Definição de Métricas por Camadas

As métricas foram definidas para cada camada da rede blockchain, considerando aspectos específicos para cada uma delas, conforme é demonstrado na Tabela 1:

- **Camada de Aplicação:** Foca em latência, taxa de adoção, escalabilidade, segurança de dados e consumo de energia para garantir uma interface responsiva e segura [Bang e Choi 2019, Zheng et al. 2018, Liu et al. 2022, Bada et al. 2021].
- **Camada de Contratos:** Envolve a taxa de execução de contratos, latência na execução e precisão na execução dos contratos inteligentes [Fakhri et al. 2021, Ko et al. 2018, Kanga et al. 2020].
- **Camada de Incentivo:** Avalia a distribuição de recompensas e a taxa de emissão de moedas para garantir o equilíbrio econômico da rede [King et al. 2024].
- **Camada de Consenso:** Analisa a taxa de consenso, eficiência do algoritmo e impacto energético para garantir a sustentabilidade do sistema [Zheng et al. 2018, Liu et al. 2022, Lee et al. 2019, Bada et al. 2021].

- **Camada de Rede:** Mede o desempenho da rede P2P, latência de propagação de blocos, taxa de sincronização de nós e taxa de sucesso na verificação de blocos [Kanga et al. 2020, Ko et al. 2018, Fakhri et al. 2021].
- **Camada de Dados:** Foca na integridade dos dados, taxa de geração de blocos, latência de validação de blocos e eficiência de armazenamento [Zheng et al. 2018, Liu et al. 2022, Fakhri et al. 2021].

4.2. Mapeamento de Avaliação de Métricas por Camadas

Tabela 1. Mapeamento de Artigos que Avaliaram as Métricas de Cada Camada

| Camada | Mapeamento dos Artigos Analisados em [Bastos et al. 2024] | Métricas |
|-------------------|---|---|
| Aplicação | [Zheng et al. 2018, Liu et al. 2022] | Latência de Resposta, Escalabilidade |
| | [Lee et al. 2019, Bang e Choi 2019] | Taxa de Adoção, Consumo de Energia |
| | [Ko et al. 2018, Fakhri et al. 2021] | Segurança de Dados |
| Contratos | [Zheng et al. 2018, Liu et al. 2022] | Taxa de Execução de Contratos, Latência de Execução |
| | [Bang e Choi 2019, Ko et al. 2018] | Precisão e Confiabilidade |
| Incentivos | | Distribuição de Recompensas |
| | | Taxa de Emissão de Recompensas |
| Consenso | [Liu et al. 2022, Bang e Choi 2019] | Taxa de Consenso, Impacto Energético |
| | [Ko et al. 2018] | Eficiência de Algoritmo |
| Rede | [Zheng et al. 2018, Liu et al. 2022] | Desempenho P2P, Taxa de Sincronização de osNós |
| | [Ko et al. 2018] | Latência de Propagação de Blocos |
| Dados | [Zheng et al. 2018, Liu et al. 2022] | Integridade dos Dados |
| | [Lee et al. 2019, Bang e Choi 2019] | Taxa de Geração e Latência de Validação dos Blocos |
| | [Ko et al. 2018] | Taxa de Compressão e Eficiência no Armazenamento |

A Tabela 1 resume o mapeamento das métricas analisadas, destacando que todas as camadas possuem métricas monitoradas, exceto a camada de incentivo, que ainda carece de estudos específicos sobre mecanismos de recompensa e impacto na participação da rede. Além de também mostrar as métricas definidas para cada uma das camadas.

5. Discussão

Diante desse estudo, podemos sugerir discussões acerca dos resultados apresentados. Por exemplo, a camada de aplicação e a de dados recebem maior atenção na literatura: a primeira por lidar diretamente com a experiência do usuário e por lidar com a aplicabilidade de redes blockchain; a segunda por ser considerada o núcleo de uma rede blockchain.

As camadas de incentivo e de consenso possuem menos estudos de monitoramento na literatura. A camada de incentivo geralmente não está presente em blockchains privadas, o que pode justificar a falta de estudos sobre monitoramento. Em relação à camada de consenso, as pesquisas tendem a focar em algoritmos específicos, limitando o escopo dos estudos. Embora existam investigações sobre eficiência energética e escalabilidade desses algoritmos, esses desafios permanecem complexos e ainda não estão totalmente resolvidos.

Conclui-se que a camada de aplicação e a camada de dados recebem mais atenção devido ao impacto direto na experiência do usuário e na performance da rede. Em contrapartida, as camadas de incentivo e consenso são menos exploradas por conta de sua

complexidade técnica e menor impacto imediato. A ausência de monitoramento na camada de incentivo em redes blockchain públicas pode levar a desequilíbrios econômicos, como centralização da mineração e manipulação de incentivos.

6. Conclusão

Este estudo reafirma a importância do monitoramento eficaz em redes blockchain, destacando que métricas como latência, eficiência energética e integridade dos dados são cruciais para garantir confiabilidade e operação contínua em diferentes cenários industriais e acadêmicos. A modularidade da arquitetura blockchain permite a identificação e mitigação de problemas de maneira segmentada, promovendo maior robustez do sistema.

No âmbito acadêmico, o trabalho contribui ao fornecer métricas gerais para avaliar redes blockchain, facilitando estudos no âmbito de monitoramento. Na indústria, os resultados mostram como o monitoramento pode ser integrado a estratégias de melhoria contínua, atendendo a demandas em diversos setores.

Como direções futuras, o estudo sugere duas linhas de pesquisa: (i) criação de métricas automatizadas para análise dinâmica da camada de incentivos, considerando desbalanceamento econômico na distribuição de recompensas; e (ii) incorporação de técnicas de enfileiramento para prever anomalias na camada de rede, melhorando a detecção de gargalos e ataques à infraestrutura.

Por fim, sugere-se a análise de uma camada de privacidade em blockchains privadas, com foco na proteção de dados entre os nós participantes, garantindo a integridade das informações e definindo métricas específicas para esse tipo de rede.

Agradecimentos

Este trabalho foi parcialmente financiado pelo Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), sob os auxílios 405940/2022-0, 400111/2023-3, 444978/2024-0, pela Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) e pela Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP), por meio dos projetos 2023/00811-0, 2023/00673-7, 2021/00199-8 (CPE SMARTNESS), 2020/04031-1 e 2018/23097-3.

Referências

- Bada, A. O., Damianou, A., Angelopoulos, C. M., and Katos, V. (2021). Towards a green blockchain: A review of consensus mechanisms and their energy consumption. In *2021 17th international conference on distributed computing in sensor systems (DCOSS)*, pages 503–511. IEEE.
- Bang, J. and Choi, M.-J. (2019). Design and Implementation of Storage System for Real-time Blockchain Network Monitoring System. In *2019 20th Asia-Pacific Network Operations and Management Symposium (APNOMS)*, pages 1–4, Matsue, Japan. IEEE.
- Bastos, M., Silva, C., Veloso, A., Celeiro, J., Evaristo, B., Formigoni, J., and Abelém, A. (2024). Soluções de monitoramento de redes blockchain: Uma revisão sistemática da literatura. In *Anais do VII Workshop em Blockchain: Teoria, Tecnologias e Aplicações*, pages 69–82, Porto Alegre, RS, Brasil. SBC.

- Bhutta, M. N. M., Khwaja, A. A., Nadeem, A., Ahmad, H. F., Khan, M. K., Hanif, M. A., Song, H., Alshamari, M., and Cao, Y. (2021). A survey on blockchain technology: Evolution, architecture and security. *Ieee Access*, 9:61048–61073.
- Cui, G., Shi, K., Qin, Y., Liu, L., Qi, B., and Li, B. (2017). Application of block chain in multi-level demand response reliable mechanism. In *2017 3rd international conference on information management (ICIM)*, pages 337–341. IEEE.
- Di Pierro, M. (2017). What is the blockchain? *Computing in Science & Engineering*, 19(5):92–95.
- Fakhri, M., Zegre, B., Omrane, N., and Jaziri, R. (2021). SpeedChain: A framework for Monitoring and Alerting blockchain projects. In *2021 11th IFIP International Conference on New Technologies, Mobility and Security (NTMS)*, pages 1–5, Paris, France. IEEE.
- Ghafir, I., Prenosil, V., Svoboda, J., and Hammoudeh, M. (2016). A survey on network security monitoring systems. In *2016 IEEE 4th International Conference on Future Internet of Things and Cloud Workshops (FiCloudW)*, pages 77–82.
- Kanga, D. B., Azzouazi, M., El Ghoumrari, M. Y., and Daif, A. (2020). Management and Monitoring of Blockchain Systems. *Procedia Computer Science*, 177:605–612.
- King, J. C., Dale, R., and Amigó, J. M. (2024). Blockchain metrics and indicators in cryptocurrency trading. *Chaos, Solitons amp; Fractals*, 178:114305.
- Ko, K., Lee, C., Jeong, T., and Hong, J. W.-K. (2018). Design of rpc-based blockchain monitoring agent. In *2018 International Conference on Information and Communication Technology Convergence (ICTC)*, pages 1090–1095.
- Kurose, J. F. and Ross, K. W. (2020). Computer networking: A top-down approach, 8th global edition.
- Lee, C., Kim, H., Maharjan, S., Ko, K., and Hong, J. W.-K. (2019). Blockchain Explorer based on RPC-based Monitoring System. In *2019 IEEE International Conference on Blockchain and Cryptocurrency (ICBC)*, pages 117–119, Seoul, Korea (South). IEEE.
- Liu, Y., Qian, K., Wang, K., and He, L. (2022). BCmaster: A Compatible Framework for Comprehensively Analyzing and Monitoring Blockchain Systems in IoT. *IEEE Internet of Things Journal*, 9(22):22529–22546.
- Xie, J., Tang, H., Huang, T., Yu, F. R., Xie, R., Liu, J., and Liu, Y. (2019). A survey of blockchain technology applied to smart cities: Research issues and challenges. *IEEE communications surveys & tutorials*, 21(3):2794–2830.
- Yuan, Y. and Wang, F.-Y. (2016). Towards blockchain-based intelligent transportation systems. In *2016 IEEE 19th international conference on intelligent transportation systems (ITSC)*, pages 2663–2668. IEEE.
- Zheng, P., Zheng, Z., Luo, X., Chen, X., and Liu, X. (2018). A detailed and real-time performance monitoring framework for blockchain systems. In *Proceedings of the 40th International Conference on Software Engineering: Software Engineering in Practice*, pages 134–143, Gothenburg Sweden. ACM.