INTEROPERABILIDADE ENTRE BLOCKCHAINS HYPERLEDGER FABRIC VIA PROTOCOLO IBC E COSMOS

Rian Carlos Valcanaia, Maurício Aronne Pillon

INTRODUÇÃO

A crescente adoção de *blockchain* por diferentes domínios de negócio tem produzido redes isoladas entre si, cada uma otimizada para seu próprio caso de uso, um cenário que compromete a troca de dados e a composição de aplicações entre sistemas distintos (BELCHIOR et al., 2021). Esse isolamento é particularmente crítico em *blockchains* permissionadas, como Hyperledger Fabric, nas quais cada rede define suas próprias organizações e regras de consenso sem qualquer mecanismo nativo para se comunicar com outra rede Fabric independente. O protocolo *Inter-Blockchain Communication* (IBC) tem sua implementação de referência no Cosmos, mas foi projetado para ser portável a outras máquinas de estados (GOES, 2020). Ainda assim, essa implementação de referência não compartilha nenhum componente nativo com redes permissionadas como o Fabric, exigindo um esforço de engenharia ainda não explorado para viabilizar essa interoperação. Diante desta lacuna, esta pesquisa investigou a viabilidade de estender o IBC para conectar duas redes Fabric independentes, e validou a proposta por meio de um estudo de caso de rastreabilidade na cadeia do café.

DESENVOLVIMENTO

A solução foi construída sobre o *framework* yui-fabric-ibc, que embarca uma máquina de estados IBC dentro de um *chaincode* Fabric, permitindo que uma rede Fabric participe do protocolo IBC, enviando e validando provas, como uma contraparte IBC. O estudo de caso modela uma cadeia de suprimentos do café: lotes precisam ser rastreados e ter sua propriedade transferida entre diferentes participantes, cenário sensível a fraudes e adulterações de origem, no qual registros auditáveis e resistentes à alteração podem contribuir para a rastreabilidade. Foram implementadas duas redes Hyperledger Fabric 3.1.1 independentes, ambas com consenso SmartBFT: a *CoffeeProducerNetwork* (doravante Produtor), responsável pelo cadastro e transferência de lotes de café, e a *CoffeeWalletNetwork* (doravante Carteira), responsável pela custódia de carteiras. Diferentemente do padrão financeiro ICS-20, o pacote IBC aqui carrega dados de negócio em JSON, permitindo que dois *smart contracts* conversem de forma agnóstica ao conteúdo. A Figura 1 ilustra essa arquitetura. Embora o protocolo permita uma conexão direta entre as duas redes Fabric, optou-se por uma *chain* Cosmos como intermediária: essa topologia evita integrações bilaterais dedicadas a cada novo par de redes e reaproveita o ecossistema nativo de ferramentas do IBC. Cada rede Fabric mantém uma conexão IBC direta com o Cosmos, que encaminha pacotes entre as duas redes sem interpretar o *payload* de negócio, evitando que precisem se conhecer diretamente. O transporte *off-chain* é feito por um *relayer* contínuo, responsável por manter os *light clients* atualizados e retransmitir pacotes e *acknowledgments* entre as redes. Uma transferência percorre quatro fases: (1) bloqueio temporário do lote (*escrow*) na rede Produtor, seguido pelo *relay* do pacote até a *chain* Cosmos; (2) encaminhamento do pacote pela *chain* Cosmos intermediária, seguido pelo *relay* até a rede Carteira; (3) aplicação da transferência na rede Carteira; e (4) retorno do *acknowledgment* à rede de origem por meio do *relayer*, confirmando o resultado da operação de ponta a ponta. A posse do lote só muda mediante essa confirmação, nunca de forma otimista; em caso de falha ou expiração, o *escrow* é revertido automaticamente. A avaliação de uma operação *cross-chain* exige acompanhar seu progresso pelas duas redes Fabric e pelo Cosmos. Por isso, diferentemente de ferramentas como o Hyperledger Caliper, voltadas a redes isoladas, optou-se por um *script* de medição próprio, na mesma

linha adotada em estudo similar (CHERVINSKI et al., 2023). A latência fim a fim de cada transferência é medida do envio da transação até a confirmação do *acknowledgment*, sob níveis crescentes de carga concorrente, e apresentada por meio de *box-plots*, permitindo observar mediana, dispersão e valores extremos.

RESULTADOS

Foram executadas rodadas de carga com 5, 10, 20, 40, 80 e 160 transferências simultâneas, com três repetições por nível. A Figura 2 apresenta a distribuição da latência fim a fim por nível de concorrência. A mediana cresce de forma monotônica, de 22,9 s (5 transferências) para 232,6 s (160 transferências), comportamento associado à contenção no contador de sequência do canal IBC, um estado compartilhado que precisa ser atualizado a cada novo pacote enviado. Transferências disputam a atualização desse estado compartilhado e podem precisar repetir o *escrow* até conseguir efetivar a operação. Notavelmente, o número médio de tentativas cresce pouco entre 40 e 160 transferências simultâneas (de 2,8 para 3,6), enquanto a mediana da latência mais que quadruplica. Isso indica que, sob alta carga, o custo dominante está no maior tempo de processamento e inclusão em bloco, e não no número de tentativas, comportamento também relatado em redes Tendermint sob alta taxa de submissão (CHERVINSKI et al., 2023). Em todos os níveis testados, 100% das transferências foram concluídas com sucesso graças ao mecanismo de retentativa. Próximo de 160 transferências simultâneas, porém, o *relayer* apresentou uma falha reprodutível: uma condição de corrida entre a atualização periódica do *light client* (*heartbeat*) e a atualização realizada pelo próprio serviço de *relay* durante o processamento de *acknowledgments* pendentes provocou um *panic* que encerrou o processo, exigindo reinício manual para completar as repetições. A falha evidencia uma limitação de robustez do *relayer* sob alta concorrência, o que não deve ser atribuído ao protocolo em si.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados confirmam a viabilidade de estender o protocolo IBC para conectar redes Fabric independentes. O sistema manteve 100% de conclusão mesmo sob carga concorrente elevada, ainda que às custas de latência crescente e de tentativas adicionais de *escrow*. A principal limitação identificada não está no protocolo em si, mas na robustez da implementação do *relayer* utilizado, que se torna instável a partir de aproximadamente 160 transferências simultâneas. Como trabalhos futuros, destacam-se: corrigir a condição de corrida na atualização do *light client* no *relayer*; decompor a latência por fase (*escrow*, encaminhamento, aplicação e *ack*) para localizar com mais precisão os custos sob carga; e validar o comportamento em modo distribuído, com as duas redes em máquinas físicas distintas.

Palavras-chave: blockchain; interoperabilidade; Hyperledger Fabric; Cosmos; protocolo IBC.

ANEXOS

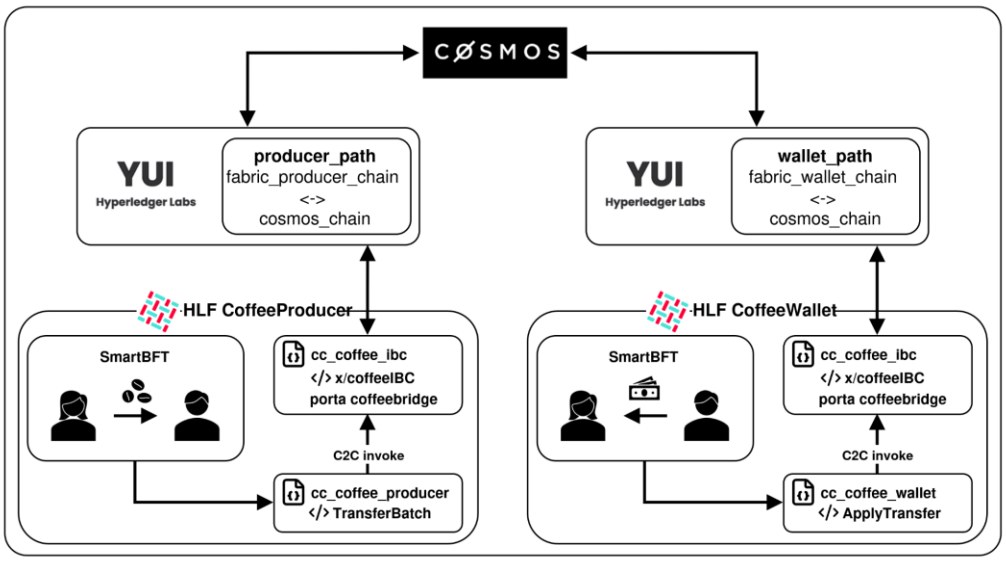


Figura 1. *Visão geral da arquitetura implementada no estudo de caso do café.*

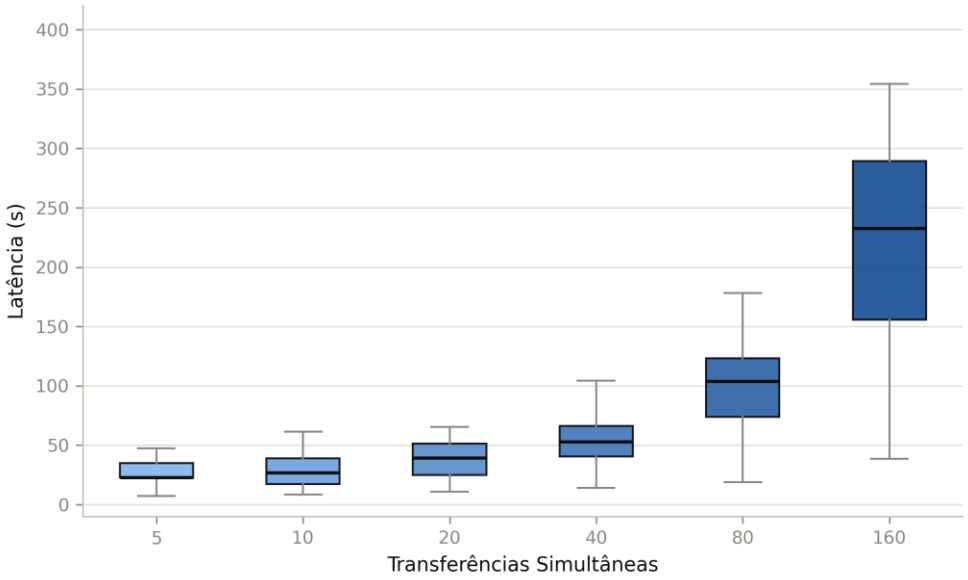


Figura 2. *Distribuição da latência fim a fim por nível de carga concorrente.*

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BELCHIOR, R.; VASCONCELOS, A.; GUERREIRO, S.; CORREIA, M. A Survey on Blockchain Interoperability: Past, Present, and Future Trends. **ACM Computing Surveys**, v. 54, n. 8, art. 168, p. 1-41, 2021. DOI: 10.1145/3471140.

CHERVINSKI, J. O. M.; KREUTZ, D.; XU, X.; YU, J. Analyzing the Performance of the Inter-Blockchain Communication Protocol. In: **IEEE/IFIP International Conference on Dependable Systems and Networks (DSN)**, 2023. DOI: 10.1109/DSN58367.2023.00026.

GOES, C. The Interblockchain Communication Protocol: An Overview. **arXiv preprint**, arXiv:2006.15918, 2020. Disponível em: https://arxiv.org/abs/2006.15918. Acesso em: 16 set. 2026.