

Solução Descentralizada de Compartilhamento de Infraestrutura de Redes Baseada em *Blockchain*

Jeffson C. Sousa*, Vinicius Duarte, Maurício Pinto, Bruno Evaristo e José Reynaldo Formigoni Filho

Resumo—*Blockchain* é uma tecnologia descentralizada que fornece segurança, transparência e validação de processos incomparáveis e está redefinindo o cenário operacional em vários setores. Este artigo se concentra no desenvolvimento de um método inovador de marketplace de telecomunicações baseado em *blockchain*, para oferecer um catálogo diversificado de serviços e ativos de telecomunicações, integrando-se de maneira inovadora para facilitar oferta e demanda descentralizada de serviços de Telecom. Utilizando os recursos do Hyperledger Besu, o dApp é adaptado para melhorar a segurança, escalabilidade e interoperabilidade, contribuindo assim para um ecossistema de comercialização mais integrado. Propondo um ambiente de transações financeiras seguro, transparente e eficiente.

Palavras-Chave—*Blockchain*, Telecomunicações, Inovação.

Abstract—Blockchain is a decentralized technology that provides unparalleled security, transparency and process validation, and is redefining the operational landscape across multiple industries. This paper focuses on developing an innovative blockchain-based telecommunications marketplace method to offer a diverse catalog of telecommunications services and assets, integrating in an innovative way to facilitate the supply and demand for Telecom services. Utilizing Hyperledger Besu capabilities, the dApp is tailored to improve security, scalability and interoperability, thus contributing to a more integrated commercialization ecosystem. Proposing a safe, transparent and efficient financial transaction environment.

Keywords—*Blockchain*, Telecommunications, Innovation.

I. INTRODUÇÃO

Blockchain, uma aplicação proeminente de *Distributed Ledger Technology* (DLT), emprega criptografia e algoritmos sofisticados para realizar armazenamento, troca e sincronização imutáveis de dados em uma rede descentralizada. As DLTs habilitam os nós em redes distribuídas a alcançar consenso e registrar informações sem a necessidade de uma autoridade central. A arquitetura *blockchain* liga cada bloco de dados criptograficamente, protegendo-os contra adulterações. Esta configuração salvaguarda a integridade dos dados, proporcionando alta segurança e confiabilidade, onde alterações exigiriam a reescrita de toda a cadeia subsequentemente, conferindo ao sistema robustez contra manipulações [1].

A evolução da *Blockchain* começou com as criptomoedas em 2008, quando Satoshi Nakamoto propôs a criptomoeda *Bitcoin* como um livro-razão descentralizado, frequentemente

denotado como especificação *Blockchain* 1.0. Mais tarde, na *Blockchain* 2.0, os contratos inteligentes (*Smart Contracts* ou SC) foram projetados para automatizar os fluxos transacionais entre pares por meio de regras definidas e especificações de configurações de contrato. A mudança da indústria em direção a soluções em *blockchain* é suportada não apenas pelas vantagens inerentes da tecnologia em segurança, validação e transparência, mas também por plataformas como o *Hyperledger Besu* que oferecem soluções sob medida para o setor financeiro e permitem o desenvolvimento de aplicações financeiras sofisticadas [2].

Este trabalho tem como objetivo geral propor uma arquitetura de *marketplace* descentralizado por meio de um caso de uso prático em um cenário de serviços de telecomunicações baseado em *blockchain*. Utilizando a *blockchain* para garantir interoperabilidade, escalabilidade e acesso controlado, juntamente com as funcionalidades do *Hyperledger Besu*, propõe-se a criação de um ecossistema de comercialização integrado, seguro e eficiente. O design do sistema enfoca adaptabilidade e resiliência, resolvendo problemas persistentes na distribuição de infraestrutura de redes de telecomunicações. Esta integração não só facilita as operações como também fomenta inovações na entrega de serviços, posicionando o sistema como uma solução transformadora para o setor.

As principais contribuições deste trabalho incluem: (i) criação da arquitetura do *marketplace* descentralizado; (ii) apresentação de um fluxograma com componentes de software para ilustrar o cenário, (iii) definição e aprofundamento dos atores envolvidos no cenário, (iv) exploração da camada de contrato inteligente e detalhamento de suas funções principais, e (v) desenvolvimento de um caso de uso detalhado com cenário e diagrama de sequência que exemplifica cada etapa do ciclo de vida do serviço. Este trabalho está organizado da seguinte forma: a Seção II apresenta os trabalhos relacionados à proposta. A Seção III apresenta a descrição da proposta, e a Seção IV apresenta a conclusão e trabalhos futuros acerca deste estudo.

II. TRABALHOS RELACIONADOS

Atualmente, diversas aplicações estão sendo desenvolvidas usando DLT para tarifação de serviços, controle de SLA via contratos inteligentes e criação de *marketplaces* descentralizados de serviços de comunicação. Um exemplo é a iniciativa *Catalyst* do *TMForum*, que visa fomentar colaborações entre prestadores de serviços e promover a interoperabilidade entre diversas plataformas DLT, já maduras e prontas para integração, seguindo padrões aceitos na indústria de telecomunicações [3]. Utilizando a tecnologia DLT, o mercado federado

Jeffson C. Sousa*, Vinicius Duarte, Maurício Pinto, Bruno Evaristo e José Reynaldo Formigoni, Centro de Pesquisa e Desenvolvimento em Telecomunicações (CPQD) Campinas – SP – Brasil, e-mail: {jcsousa, viniciusd, mauriciop, elderb, reynaldo}@cpqd.com.br. Os autores agradecem o apoio financeiro dado a este trabalho, com o apoio do FUNTTEL (Fundo Nacional de Desenvolvimento de Tecnologia em Telecomunicações) e da FINEP (Agência Brasileira de Inovação), sob o processo nº 1508/22.

oferece confiança aprimorada, redução do tempo de liquidação e diminuição do risco de fraudes para Provedores de Serviços de Comunicação (CSPs), com a possibilidade de usar *tokens* como "moeda" nos mercados federados.

Os autores em [4] propõem utilizar *blockchain* em redes 6G para virtualizar a infraestrutura de rede, permitindo transações financeiras seguras entre operadoras e usuários via contratos inteligentes e criptomoedas, para adquirir licenças temporárias de uso do espectro. O trabalho de [5] sugere aprimoramentos na arquitetura O-RAN, integrando *blockchain* para automatizar o compartilhamento de recursos RAN, incluindo um sistema de suporte ao negócio (BSS) e controle de admissão no SMO, com um *marketplace* de RAN operados por terceiros.

O trabalho de [6] exploram o uso de *blockchain* em redes 6G para mediar transações em múltiplos domínios administrativos, visando integrar tecnologia aos modelos de negócios de telecomunicações, empregando *IOTA Tangle* e *IPFS* para reduzir custos e *Chainlink* para acessar dados *off-chain*. É apresentado em [7] o "*Kaputa*", um corretor dinâmico de fatiamento de rede usando *blockchain* e *NFTs* para facilitar e comercializar fatiamento de redes 5G, onde as fatias de rede são transacionadas como *NFTs* em um mercado, utilizando o *blockchain Moose* e o modelo *NFT k528*.

Em [8] é proposto uma arquitetura para um mercado descentralizado usando *DLT* e contratos inteligentes, promovendo a aquisição automatizada de recursos de rede como nuvem, *edge*, espectro e fatiamento de redes, com uma rede de catálogos de ofertas conforme o *TMForum*.

Os autores em [9] propõem um mecanismo de leilão duplo via *Hyperledger Fabric* para a alocação eficiente de recursos em mercados de telecomunicações, maximizando o bem estar social sem a necessidade de uma autoridade central e detalhando o processo de transação e alocação de recursos. Já em [10] é proposta uma arquitetura de mercado distribuído para intermediação de fatias de rede 5G usando *blockchain* e um mecanismo de leilão duplo com contrato inteligente, analisando a latência e *throughput* de transações para avaliar a eficiência do mercado. E por fim [11] implementa um sistema de leilão em *blockchain Hyperledger Fabric* para negociar fatias de rede, utilizando a estratégia de leilões de *Vickrey* para selecionar o segundo lance mais alto como vencedor, promovendo um ambiente distribuído e sem intermediários.

TABELA I
REPRESENTAÇÃO DOS TRABALHOS RELACIONADOS.

	Marketplace Descentralizado	Blockchain Suporte DLT	Smart Contract	Suporte a Tokenização	Suporte à Billing B2B/B2C	Identidade Digital Descentralizada
Proposta	✓	✓	✓	✓	✓	✓
[4]	✓	✓	✓	✓	✓	✓
[5]	✓	✓	✓	✓	✓	✓
[8]	✓	✓	✓	✓	✓	✓
[7]	✓	✓	✓	✓	✓	✓
[6]	✓	✓	✓	✓	✓	✓
[9]	✓	✓	✓	✓	✓	✓
[10]	✓	✓	✓	✓	✓	✓
[11]	✓	✓	✓	✓	✓	✓

A Tabela 1 apresenta uma distribuição detalhada dos aspectos discutidos acima. No geral, o nosso trabalho se difere principalmente em dois pontos: (i) pelo suporte a integração de identidade digital descentralizada que será feito usando um *framework* inovador, comunidade ativa e com validação de uso como moeda digital pioneira no Brasil que está sendo desenvolvida pelo Banco Central que fornece programabilidade e segurança para usuários e instituições financeiras [12]; (ii) e pelo suporte a um sistema de *billing* B2B e B2C que funcionará de forma descentralizada.

III. PROPOSTA DE MERCADO DESCENTRALIZADO

Nesta seção, apresentamos a arquitetura *D-MTS (Decentralized Marketplace for Telecommunication Services)* para um *marketplace* de telecomunicações. A plataforma disponibiliza um catálogo de serviços e ativos de telecomunicações e integra funcionalidades para facilitar a escolha e contratação de serviços de infraestrutura de redes. Incorpora, ainda, um sistema de faturamento baseado em *blockchain*, assegurando transparência e segurança nas transações. Este componente permite aos usuários visualizar e simular a performance de redes 5G e 6G, apoiando decisões sobre quais serviços ou ativos contratar com base em simulações realistas de desempenho de rede.

A Figura 1 ilustra a plataforma *D-MTS* para a indústria de telecomunicações, conectando consumidores, fornecedores de serviços de rede móvel e provedores de ativos em um ecossistema integrado para negociação de serviços e ativos de telefonia móvel. O *marketplace* atua como a plataforma para todas as interações, abrigando um catálogo diversificado que inclui serviços de telefonia móvel e ativos como torres, antenas, baterias, RANs, Core de Rede e faixas de espectro.

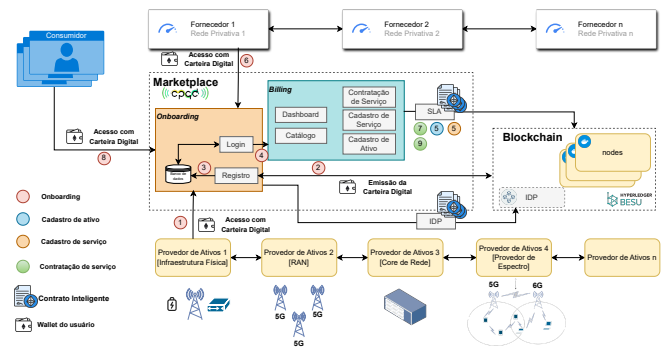


Fig. 1. Arquitetura da Proposta D-MTS

O fluxo operacional da arquitetura *D-MTS*, conforme delimitado na Figura 1, inicia-se com o processo de autenticação dos participantes — que inclui consumidores, fornecedores de serviços e provedores de ativos — por meio do uso de carteiras digitais, garantindo uma camada de segurança criptográfica robusta (identificado nos círculos vermelhos 1, 6 e 8). A fase subsequente, denominada *onboarding*, é marcada pelo registro de novos usuários na plataforma, onde são coletadas informações essenciais para a criação de perfis dentro do sistema (círculos vermelhos 2 e 3). Após a conclusão do registro, os usuários efetuam login (círculo vermelho 4), acessando assim

o *dashboard*. Este painel central é projetado para oferecer uma visão abrangente e a possibilidade de gerenciamento das atividades do usuário, além de prover acesso ao catálogo que exibe um leque de serviços e ativos disponíveis para contratação.

Neste contexto, fornecedores de serviços e provedores de ativos detêm a funcionalidade de inserir novas ofertas e recursos no catálogo, dinamizando o espectro de opções disponíveis (representado pelos círculos azul e laranja). O processo de contratação de serviços ou ativos é caracterizado pela negociação de termos de serviço, estabelecimento de SLAs e a subsequente formalização do contrato (ilustrado nos círculos verdes 7 e 9), etapas estas fundamentais para a formalização da prestação de serviços. Todas as informações críticas relacionadas à operação do *marketplace* são armazenadas em um banco de dados centralizado, o que é vital para a manutenção da integridade e da confiabilidade dos dados.

Como usuários do *marketplace*, podemos identificar os seguintes atores: (i) consumidores, que utilizam o *marketplace* para contratar serviços de telefonia móvel, (ii) fornecedores de serviços, que ofertam serviços de telefonia móvel no *marketplace* e também utilizam a plataforma para contratar ativos e serviços necessários para suas operações, (iii) provedores de ativos, que ofertam ativos e infraestruturas essenciais para as operações de rede móvel.

A. Consumidores

Os consumidores, usuários finais da plataforma D-MTS, interagem com o sistema por meio de aplicativos web/móveis. Eles podem adquirir serviços de redes privadas 5G/6G no mercado, utilizando *tokens* digitais exclusivos da plataforma e pagando em moeda criptográfica ou fiduciária. Ao comprar *tokens*, os consumidores podem contratar serviços de um catálogo diversificado e verificar as informações de auditoria e procedência de cada provedor usando identidades digitais descentralizadas, para validar o acesso à rede.

B. Provedores de Recursos

Na plataforma D-MTS, fornecedores de serviços de telefonia móvel e provedores de ativos essenciais para operações de rede alugam seus recursos, facilitando um mercado compartilhado dinâmico através do fatiamento de rede. Provedores de nuvem e operadoras de rede/RAN oferecem, respectivamente, infraestruturas de serviços em nuvem e hardware 5G ou 6G. Fornecedores de redes privadas disponibilizam serviços de telecomunicações essenciais. Um orquestrador de rede na D-MTS gerencia a distribuição desses recursos, orquestrando as fatias de rede para otimizar o uso e inclusão no catálogo.

C. Serviço de Identidade Digital Descentralizada

A plataforma deve primeiramente integrar-se com os participantes, verificando e armazenando suas identidades em um sistema de armazenamento *blockchain*, seguindo o princípio de identidade auto-soberana [14]. Após essa integração, nós de *blockchain* específicos serão estabelecidos para cada participante. Todas as informações de identificação são mantidas

no livro-razão do *blockchain*. Um contrato inteligente específico gerencia essa integração de identidades, eliminando a necessidade de autoridades centrais e aproveitando a natureza descentralizada e segura da *blockchain* para registrar e proteger as identidades.

A plataforma escolhida para prover identidades é o *Hyperledger Besu*[12][13], um cliente Ethereum desenvolvido pelo projeto *Hyperledger*, uma comunidade de *blockchain open-source* liderada pela *Linux Foundation*. Desenvolvido em Java, o *Besu* é projetado para executar redes permissionadas baseada na rede *Ethereum*, oferecendo alto desempenho no processamento de transações. Ele suporta diversos algoritmos de consenso, incluindo *Proof of Stake*, *Proof of Work* e *Proof of Authority*.

Embora o *Hyperledger Besu* não suporte nativamente os padrões de *DID*, como é um cliente *Ethereum*, ele pode adotar padrões comunitários como *ERC-725* e *ERC-735* para gerenciamento de identidades, alinhados com as diretrizes do *W3C*. A Figura 2 ilustra como a proposta D-MTS pode ser adaptada para o provisionamento de identidades dos usuários da plataforma, incluindo os componentes do sistema envolvidos.

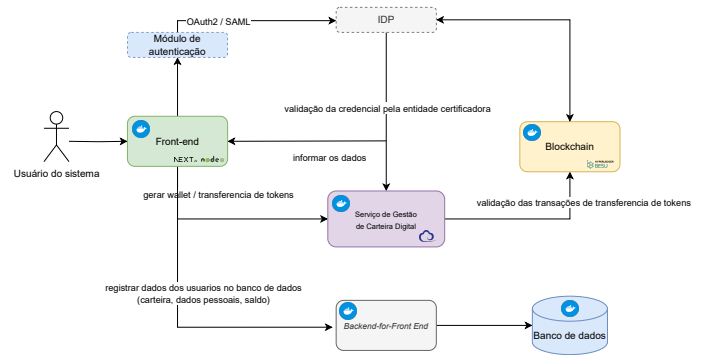


Fig. 2. Fluxograma da proposta D-MTS para um usuário do sistema

D. Camada de contrato inteligente

A plataforma proposta utiliza o *Hyperledger Besu* para integrar a *Ethereum Virtual Machine (EVM)* no *front-end*, empregando a biblioteca *Ethers.js* para o desenvolvimento de *DApps* personalizados. O processo inicia com a criação de um contrato inteligente em *Solidity*, seguido pelo seu carregamento e execução no *EVM* através do *Hyperledger Besu*. A aplicação *web front-end* interage com o contrato inteligente utilizando a biblioteca *Ethers.js*. Este método tem sido utilizado para desenvolver uma variedade de *DApps* na rede *Ethereum*, incluindo jogos, *exchanges* e mercados [15].

A plataforma inclui dois contratos inteligentes principais: o "**ServiceContract**", que facilita a contratação e pagamento de serviços usando um *token ERC20*, e o "**Telecoin**", um *token ERC20* que incorpora funcionalidades extras como queima de *tokens (burn)*, pausabilidade (*pause*) e controle de propriedade (*ownable*).

1) *Contrato de Serviço (ServiceContract)*: O contrato de serviço gerencia a comissão do serviço e possibilita consultas de saldo tanto do contrato quanto do usuário. O contrato de

serviço possui duas funções principais que vão ser utilizadas no cenário do caso de uso:

- A função "contratarServiço", que permite a contratação de um serviço, transferindo a quantidade necessária de tokens tanto para o contrato quanto para o dono do contrato como comissão.
- E a função "pagarServiço", que permite o pagamento do serviço e a realização de extornos, se necessário. A função só pode ser chamada pelo proprietário do contrato.

2) *Contrato de Tokenização (Telecoin)*: O contrato "Telecoin" implementa um token ERC20 com recursos adicionais herdados de contratos da biblioteca *OpenZeppelin*, incluindo a capacidade de pausar transferências, queimar *tokens* e funções administrativas para o proprietário do contrato. No contrato temos as seguintes variáveis principais:

- **Nome do Token**: Telecoin
- **Símbolo do Token**: TLC
- **Proprietário do Contrato**: Inicialmente definido como o endereço que implanta o contrato

O contrato "Telecoin" é um *token ERC20* avançado com funcionalidades adicionais de queima, pausabilidade e controle de propriedade. Ele oferece uma maneira flexível e segura de gerenciar *tokens*, incluindo a criação de novos tokens, pausas em transações e queima de *tokens*. Dessa forma, com essas funcionalidades, o contrato proporciona um modelo robusto para operações de transações tokenizadas.

E. Caso de uso

Os consumidores podem adquirir serviços de redes privadas no *marketplace*, selecionando pacotes conforme suas necessidades (exemplo: 5GB/mensal) e realizando o pagamento em moeda criptográfica ou fiduciária via uma *exchange* interna. Os pagamentos são distribuídos aos fornecedores de serviços de telecomunicações e provedores de ativos conforme suas participações. As transações comerciais e financeiras são gerenciadas por contratos inteligentes, garantindo um sistema completamente transparente e auditável. Esse design não só aumenta a transparência e a possibilidade de auditoria na orquestração de fatias de serviços de telecomunicações, como também promove um ambiente aberto para o compartilhamento e comercialização desses serviços. As Figuras 3 e 4 ilustram o caso de uso do sistema.

O exemplo descreve um cliente *Telecom* autenticando-se na plataforma usando sua carteira digital. Após a autenticação, o cliente adquire um serviço de rede móvel 5G do Fornecedor de Serviço A por 10 TLC. Subsequentemente, o contrato de serviço é ativado para conceder acesso ao serviço. Durante esta etapa, inicia-se o ciclo de vida do serviço e o contrato de serviço faz uma chamada interna ao contrato de tokenização para processar os pagamentos: 10% do valor é destinado ao *marketplace* como comissão, enquanto 90% é transferido ao Fornecedor de Serviço A.

Este fluxo ilustra que o painel central é projetado para fornecer uma visão abrangente e acesso ao catálogo, que exhibe uma variedade de serviços e ativos disponíveis para contratação. Somente fornecedores de serviços e provedores de ativos têm a capacidade de adicionar novas ofertas e recursos

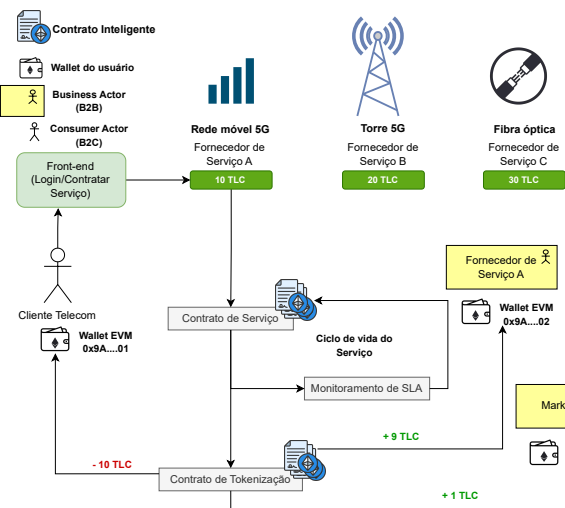


Fig. 3. Representação do cenário do caso de uso para o usuário **Cliente Telecom**

ao catálogo, ampliando as opções disponíveis durante a fase de oferta de serviços.

O diagrama na Figura 4 descreve quatro fases do processo: (i) *Onboarding*, (ii) Oferta de Serviços, (iii) Contratação de Serviço e (iv) Serviço Finalizado. Na fase de *Onboarding*, os atores do sistema se registram na plataforma. Através do *marketplace*, que utiliza seus componentes internos, as informações de acesso são registradas e armazenadas. Utilizando a biblioteca *ethers.js* e chamadas de API, o *marketplace* gera uma carteira digital *EVM* para cada usuário, fornecendo um endereço de carteira. Cada carteira é associada ao contrato de tokenização (*Telecoin*) para gerenciar saldo e câmbio no sistema.

Na fase de Oferta de Serviços, os atores Fornecedor de Serviço e Provedor de Ativos podem solicitar a inclusão de novos serviços no catálogo do *marketplace*, atualizando o portfólio de serviços e estabelecendo preços para exibição no *dashboard* do cliente *Telecom*. Após essas solicitações, o *marketplace* avalia cada serviço conforme regras de negócio pré-estabelecidas e, se atenderem aos critérios, aprova sua inclusão no catálogo.

Na fase de Contratação do Serviço, o Cliente *Telecom* faz uma solicitação de serviço ao *marketplace* via *front-end*. O *marketplace* então verifica o saldo do cliente e, se adequado, aprova a transação. Uma requisição de contrato é enviada através da biblioteca *ethers.js* para o contrato inteligente na rede *blockchain*, utilizando a função "contratarServiço". O contrato inteligente executa o pagamento aos envolvidos e aplica um desconto ao usuário solicitante. Uma vez confirmada a transação, o *marketplace* libera o serviço ao usuário e inicia o serviço de monitoramento, verificando métricas pré-definidas de utilização. Em caso de violação de SLA, o *marketplace* notifica os fornecedores envolvidos, continuando esse ciclo até que o serviço mude de status de ativo para inativo.

Na fase de Serviço Finalizado, o *marketplace* calcula a porcentagem da penalidade e o valor do serviço prestado

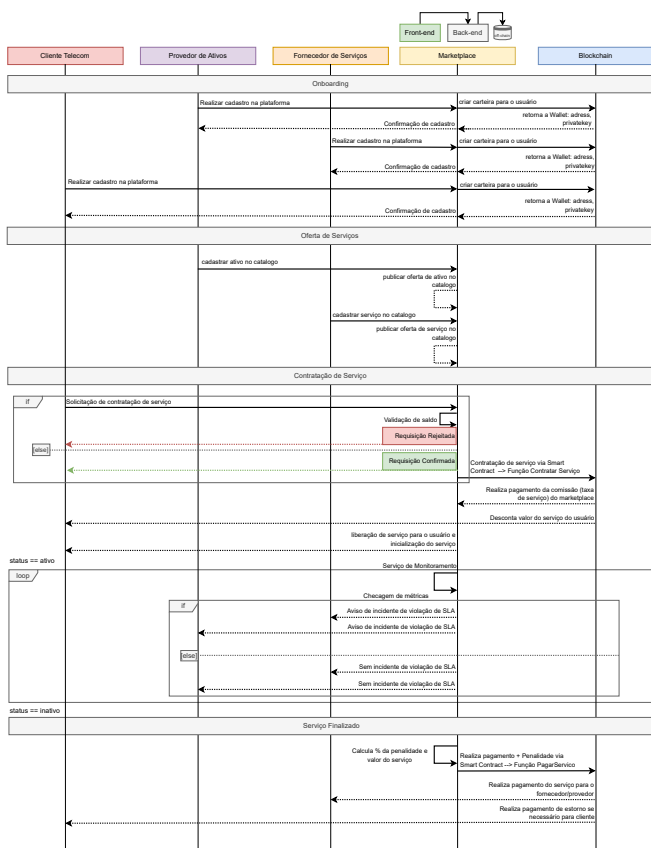


Fig. 4. Diagrama de sequência do cenário para todos os usuários do sistema

pelos fornecedores. Em seguida, faz uma chamada ao contrato inteligente para aplicar a penalidade usando a função "pagarServiço". O contrato inteligente, por sua vez, executa o pagamento ao fornecedor/provedor e, se necessário, processa estornos ou créditos para os clientes *Telecom*.

IV. CONCLUSÕES

Este trabalho introduziu uma inovação significativa no mercado de telecomunicações com uma plataforma *blockchain* que integra um *marketplace* de infraestrutura compartilhada e oferta de serviços geridos por contratos inteligentes, facilitando a tomada de decisão sobre quais serviços ou ativos contratar, com base em simulações de desempenho de rede altamente realistas. Esta abordagem não apenas melhora a eficiência na contratação de recursos, mas também aprimora a experiência do usuário, respondendo à crescente demanda por soluções tecnológicas sofisticadas no setor. A arquitetura proposta eleva a segurança e a performance, com Acordos de Nível de Serviço (SLAs) personalizados, destacando o potencial de sistemas descentralizados para uma gestão eficiente de dados e transações, garantindo transparência, segurança e eficiência no processo de *billing*, e simplificando a reconciliação e auditoria de transações.

O emprego da *blockchain* oferece uma gestão transparente e segura, permitindo a troca de ativos digitais e proporcionando aos usuários maior controle sobre suas informações por meio

de transações verificáveis e contratos autoexecutáveis. Esta inovação atende às necessidades atuais e prepara o mercado para futuras tendências, enfatizando a importância de desenvolver soluções que assegurem desempenho, segurança e privacidade, fundamentais para o avanço contínuo do setor de telecomunicações.

REFERÊNCIAS

- [1] ITU-T. Technical specification fg dlt d1.1 - distributed ledger technology terms and definitions. Technical report, TELECOMMUNICATION STANDARDIZATION SECTOR OF IT. 2019
- [2] Shahrukh, M. R. H., Rahman, M. T., and Mansoor, N. Exploration of hyperledger besu in designing private blockchain-based financial distribution systems, 2023.
- [3] Adhiappan, A., Chernetsov, A., Fenomenov, M., Karabudak, U., Korabanova, A., Kislyakov, S., Beller, L., Nati, M., Radier, B., Sushkov, A., Ustimenko, A., Vedin, A., Yurlov, O., Meriem, T., Messié, V., and Labidurie Omnes, N. Federated cps marketplace : A dlt-based data trust enabling business assurance for cps platforms federation. Technical report. 2020.
- [4] Maksymyuk, T., Gazda, J., Volosin, M., Bugar, G., Horvath, D., Klymash, M., and Dohler, M. Blockchain-empowered framework for decentralized network management in 6g. *IEEE Communications Magazine*, v. 58, n. 9, p. 86–92, 2020.
- [5] Giupponi, L. and Wilhelmi, F. Blockchain-enabled network sharing for o-ran in 5g and beyond. *IEEE Network*, v. 36, n. 4, p. 218–225, 2022.
- [6] Javed, F. and Mangués-Bafalluy, J. Blockchain and 6g networks: A use case for cost-efficient inter-provider smart contracts. In *2022 IEEE 33rd Annual International Symposium on Personal, Indoor and Mobile Radio Communications (PIMRC)*, p. 602–608, 2022.
- [7] Bandara, E., Shetty, S., Mukkamala, R., Rahman, A., Foytik, P., Liang, X., and Keong, N. W. Kaputa - blockchain, non-fungible token and model card integrated 5g/6g network slice broker and marketplace. In *MILCOM 2022 - 2022 IEEE Military Communications Conference (MILCOM)*, p. 559–564, 2022.
- [8] Fernández-Fernández, A., Coronado, E., Erspamer, A., Samaras, G., Theodorou, V., and Siddiqui, S. Unlocking the path toward intelligent telecom marketplaces for beyond 5g and 6g networks. *IEEE Communications Magazine*, v. 61, n. 3, p. 28–34, 2023.
- [9] Afraz, N. and Ruffini, M. (2019). A distributed bilateral resource market mechanism for future telecommunications networks. In *2019 IEEE Globecom Workshops (GC Wkshps)*, pages 1–6, 2019.
- [10] Afraz, N. and Ruffini, M. 5g network slice brokering: A distributed blockchain-based market. In *2020 European Conference on Networks and Communications (EuCNC)*, p. 23–27, 2020.
- [11] Afraz, N., Wilhelmi, F., Ahmadi, H., and Ruffini, M. Blockchain and smart contracts for telecommunications: Requirements vs. cost analysis. *IEEE Access*, 11:95653–95666, 2023.
- [12] Silva, M.M. Conheça a tecnologia por trás da Hyperledger Besu, rede escolhida pelo BC para abrigar o Drex. Future of Money. Exame. Acesso em 22 de maio. Disponível em: <https://exame.com/future-of-money/conheca-a-tecnologia-por-tras-da-hyperledger-besu-rede-escolhida-pelo-bc-para-abrigar-o-drex/>
- [13] Besu, H. Hyperledger besu ethereum client. <https://besu.hyperledger.org/>. Acesso em: 19 de abr. de 2024, 2022.
- [14] CORREA, E. Bruno Evaristo; ÁVILA, Ismael M. A.; CELEIRO, Jefferson; SOUSA, Fiterlinge; WANGHAM, Michelle Silva. Relato de Experiência do Processo de Implantação do Testbed para Gestão de Identidades Digitais Descentralizadas. In: WORKSHOP DE TESTBEDS, 2. , 2023, João Pessoa/PB. Anais [...]. Porto Alegre: Sociedade Brasileira de Computação, 2023 . p. 25-37. DOI: <https://doi.org/10.5753/wtestbeds.2023.230650>.
- [15] Dannen, C. Dapp Deployment, pages 149–157. Apress, Berkeley, CA, 2017.