

# Negociação de Contratos Inteligentes em Blockchain Baseado em Agentes para Sistemas de Distribuição de Conteúdos Educacionais

Gabriel de Sousa<sup>1</sup>, Gabriel Felix de Lima<sup>1</sup>, Victor André de Moraes<sup>1</sup>  
Thiago Masera Tokarski<sup>1</sup>, Gustavo Lopes Dezan<sup>1</sup>, Edison Ishikawa<sup>1</sup>

<sup>1</sup>CIC – Universidade de Brasília (UnB)  
DF – Brazil

211056000, 211010332, 211026666, 190096063, 202033463@aluno.unb.br<sup>1</sup>, ishikawa@unb.br

**Resumo.** *Este trabalho explora a viabilidade de uma rede de armazenamento de conteúdo educacional em nuvem descentralizada por meio de um modelo de simulação baseado em agentes. O modelo incorpora dinâmicas realistas como capacidade finita de armazenamento, contratos com duração limitada, latência de rede e múltiplas fontes de falha. A simulação executada em múltiplos cenários de escalabilidade revelou que, mesmo com agentes baseados em regras simples, a arquitetura é funcional e economicamente viável. Os resultados validam o modelo conceitual e estabelecem uma base sólida para o futuro desenvolvimento de um sistema de agentes para negociação de smart contracts em blockchain em um ecossistema de negócios de armazenamento de conteúdo educacional.*

## 1. Introdução

Soberania, independência e liberdade são conceitos de alto valor. Em um cenário digital onde plataformas de mídias sociais e serviços em nuvem são oferecidos de forma aparentemente gratuita, os usuários e seus dados frequentemente se tornam o produto [Lanchester 2017]. Os dados são armazenados em servidores localizados em jurisdições estrangeiras, submetendo-os a políticas e interesses externos. Mesmo assim, a produção e o consumo de conteúdo continuam a ser moldados pelos algoritmos dessas plataformas. De forma similar, empresas e instituições governamentais têm migrado seus dados para serviços de nuvem, cujos data centers, muitas vezes localizados no exterior, podem apresentar vulnerabilidades e riscos de descontinuidade [Muller 1982]. Essa dependência levanta questões sobre a soberania digital e a autonomia tecnológica [Woods 2024, George 2023].

Surge, portanto, o desafio de como mitigar essa dependência cibernética [Laszlo 1984], especialmente na área educacional. O conteúdo educacional produzido necessita de plataformas de distribuição [He and Wang 2023, Prokurovsky et al. 2025, Canelhas 2022] que não estejam atreladas aos modelos centralizados, majoritariamente estrangeiros e que podem apresentar dificuldades em cumprir a legislação local.

Embora existam diversas soluções para armazenamento distribuído peer-to-peer [Huang et al. 2020], a viabilidade econômica de tais infraestruturas permanece um desafio. Este trabalho propõe um modelo para a compra e venda de serviços de armazena-

mento peer-to-peer por meio de *smart contracts* em blockchain, utilizando agentes inteligentes [Wooldridge 2009, Russell and Norvig 2020] para fomentar um ecossistema de negócios [Snihur and Bocken 2022] para a distribuição de conteúdo educativo. Com este objetivo, a Seção 2 apresenta a arquitetura do sistema de agentes, a Seção 3 detalha a metodologia da simulação, a Seção 4 exhibe os resultados preliminares e, por fim, a Seção 5 traz uma breve discussão seguida das considerações finais.

## 2. Modelo de Metas e Dependências do Sistema

O diagrama na Figura 1 ilustra a arquitetura completa do sistema almejado, modelada a partir das metas de cada ator e das dependências entre eles [Pimentel and Castro 2018]. O modelo representa a visão holística [Segato et al. 2021] que a simulação busca validar em seus aspectos fundamentais.

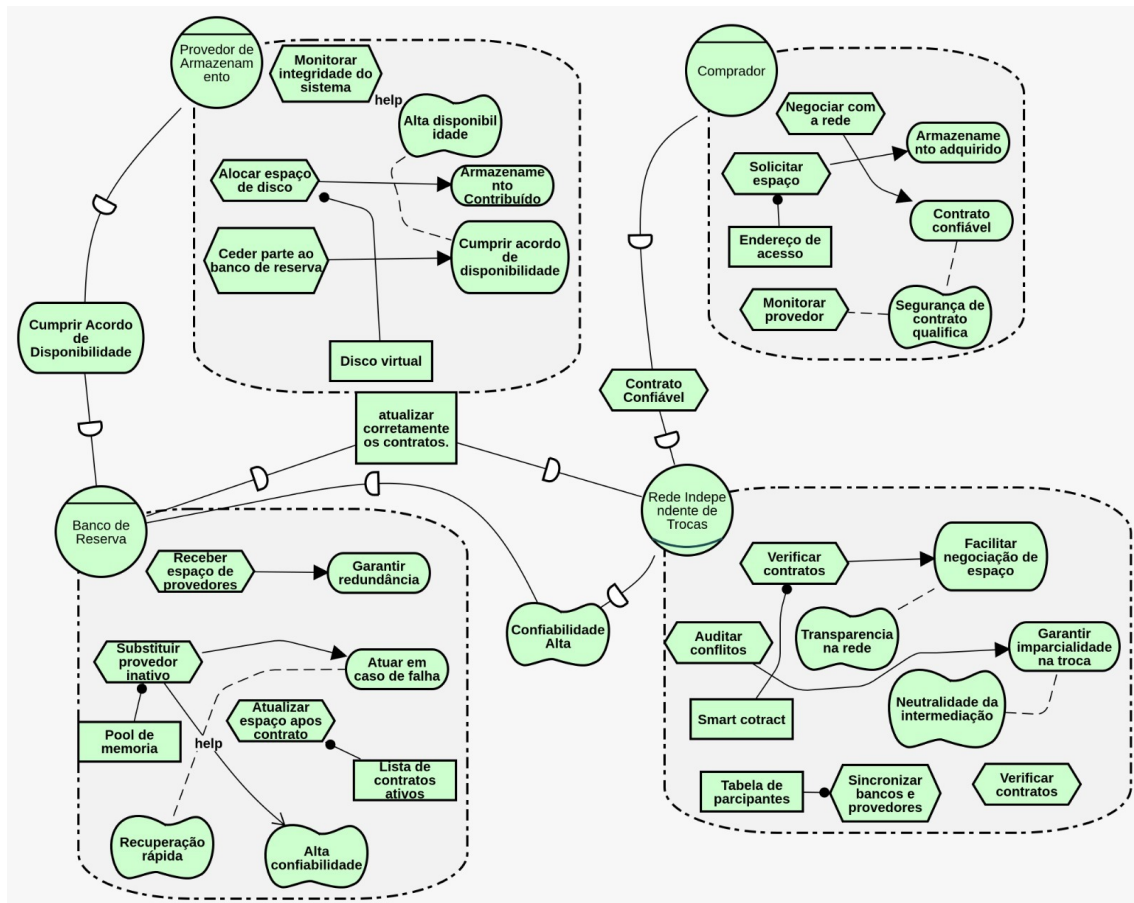


Figure 1. Diagrama de metas e dependências entre os atores do sistema.

## 3. Metodologia da Simulação

A simulação do blockchain com agentes foi configurada com parâmetros específicos, cujo código-fonte foi disponibilizado de forma anônima para revisão, para garantir representatividade estatística e realismo operacional. Foram abrangidos múltiplos cenários de escalabilidade, desde economias pequenas com 26 agentes até economias massivas com 183

agentes. Os cenários testados variaram de 26 agentes totais (15 compradores, 8 provedores, 3 agentes de rede) até 183 agentes (120 compradores, 45 provedores, 18 agentes de rede).

**Table 1. Parâmetros de configuração da simulação por cenário.**

Parâmetro	Valores	Descrição
Tempo de Simulação	120-300s	Duração total por cenário
Taxa de Transação	4-15 TPS	Frequência de solicitações
Número Total de Agentes	26-183	Agentes ativos por cenário
Latência de Rede	66-195ms	Atraso simulado na comunicação

O protocolo de execução seguiu diretrizes metodológicas rigorosas, incluindo a inicialização de agentes com parâmetros aleatórios dentro de limites estabelecidos, ativação simultânea de todos os agentes utilizando `asyncio`, registro automático de todas as transações e métricas, execução de múltiplos cenários para validação estatística, e análise quantitativa através de cálculo de médias, desvios padrão e intervalos de confiança.

## 4. Resultados Experimentais

### 4.1. Resultados Quantitativos Primários

A simulação executada em quatro cenários de escalabilidade processou um total de 8.640 transações, demonstrando a viabilidade operacional do sistema em diferentes escalas. Os resultados consolidados revelam comportamentos consistentes e escalabilidade adequada, conforme apresentado na Tabela 2.

**Table 2. Resultados principais da simulação por cenário de escalabilidade.**

Cenário	Sucesso (%)	Volume (\$)	Throughput (TPS)	Latência (ms)
Economia Pequena	9,7%	\$894	0,38	66,6
Economia Média	13,1%	\$5.007	0,91	91,7
Economia Grande	10,9%	\$8.627	1,09	141,9
Economia Massiva	12,8%	\$25.289	1,92	195,0

### 4.2. Resultados Econômicos Detalhados

A análise econômica detalhada revela que os provedores obtiveram receitas crescentes conforme a escala, de \$530 a \$25.289, enquanto mantiveram taxas de utilização que variaram de 20,7% na economia pequena para 54,4% na economia intensiva. A rede intermediária (Broker) obteve comissões proporcionais variando de \$25 a \$342, demonstrando a viabilidade econômica da intermediação descentralizada.

Os compradores mantiveram orçamentos remanescentes significativos em todos os cenários (entre \$1.744 e \$2.167 em média), indicando que o sistema não opera em saturação completa de demanda. Esta característica sugere espaço para crescimento e otimização de preços que poderiam aumentar a utilização de recursos disponíveis.

## 5. Discussão

Os resultados obtidos fornecem evidências empíricas robustas que suportam a hipótese de pesquisa, demonstrando que um sistema multiagentes é capaz de operar de forma autônoma e processar transações de armazenamento em múltiplas escalas. A viabilidade técnica foi comprovada através do processamento bem-sucedido de 8.640 transações totais, com tempos de execução computacional eficientes variando de 0,86 a 1,97 segundos por cenário.

A eficiência operacional foi evidenciada pela escalabilidade positiva do throughput e pela estabilidade relativa dos tempos de resposta, considerando o aumento exponencial no número de agentes. A sustentabilidade econômica foi demonstrada através do crescimento consistente dos volumes financeiros e da manutenção de margens operacionais positivas para todos os tipos de agentes.

## 6. Considerações Finais

Este trabalho apresentou uma simulação bem-sucedida de uma rede descentralizada de armazenamento em nuvem baseada em sistemas multiagentes. Os resultados experimentais validaram a viabilidade técnica e econômica da arquitetura proposta, demonstrando que mesmo agentes com comportamentos relativamente simples podem operar de forma autônoma e eficiente em múltiplas escalas.

As contribuições principais incluem a definição de uma arquitetura clara para sistemas descentralizados de armazenamento, o desenvolvimento de uma simulação funcional em Python com `asyncio`, a demonstração empírica da viabilidade através de múltiplos cenários de escalabilidade, o estabelecimento de métricas relevantes para avaliação de sistemas descentralizados, e a criação de uma fundação sólida para futuras implementações com inteligência artificial.

Este trabalho contribui para o avanço do conhecimento em sistemas multiagentes através da demonstração prática de coordenação descentralizada, exploração de alternativas aos modelos centralizados de computação em nuvem, validação de mercados descentralizados de recursos computacionais, e estabelecimento de protocolos de simulação para sistemas complexos.

A pesquisa demonstra que a descentralização de serviços de nuvem não apenas é tecnicamente viável, mas também economicamente sustentável. Os resultados estabelecem uma base empírica sólida para o desenvolvimento de sistemas mais sofisticados, incorporando inteligência artificial e tecnologias blockchain. O trabalho valida parcialmente a hipótese de pesquisa, confirmando que sistemas multiagentes podem efetivamente simular e operar mercados descentralizados de recursos computacionais.

## References

- [Canelhas 2022] Canelhas, G. d. S. M. (2022). *Educational Videos for Pre-School Children: Challenges in the Creation and Content Distribution in Digital Platforms*. PhD thesis, Universidade NOVA de Lisboa (Portugal).
- [George 2023] George, A. S. (2023). Silicon valley rising: how big tech may eclipse nation states. *Partners Universal Innovative Research Publication*, 1(1):102–119.

- [He and Wang 2023] He, Q. and Wang, K. (2023). Intelligent content distribution system: A machine learning-based teaching content customization method. *International Journal of Emerging Technologies in Learning*, 18(17).
- [Huang et al. 2020] Huang, H., Lin, J., Zheng, B., Zheng, Z., and Bian, J. (2020). When blockchain meets distributed file systems: An overview, challenges, and open issues. *IEEE Access*, 8:50574–50586.
- [Lanchester 2017] Lanchester, J. (2017). You are the product. *London Review of Books*, 39(16):3–10.
- [Laszlo 1984] Laszlo, E. (1984). Cybernetics in an evolving social system. *Kybernetes*, 13(3):141–145.
- [Muller 1982] Muller, M. M. (1982). *Vulnerable Sovereignty: A cybernetic essay in political sciences*. PhD thesis, Brunel University School of Engineering and Design PhD Theses.
- [Pimentel and Castro 2018] Pimentel, J. and Castro, J. (2018). pistar tool—a pluggable online tool for goal modeling. In *2018 IEEE 26th International Requirements Engineering Conference (RE)*, pages 498–499. IEEE.
- [Prokurovsky et al. 2025] Prokurovsky, A., Toutova, N., and Andreev, I. (2025). Content delivery network for e-learning based on enterprise service bus. In *2025 Systems of Signals Generating and Processing in the Field of on Board Communications*, pages 1–4. IEEE.
- [Russell and Norvig 2020] Russell, S. J. and Norvig, P. (2020). *Artificial Intelligence: A Modern Approach*. Prentice Hall, 4th edition.
- [Segato et al. 2021] Segato, T. H. F., Ralha, C. G., and Fernandes, S. E. S. (2021). Development process of multiagent system for glycemetic control of intensive care unit patients. *Artif. Intell. Res.*, 10(1):43.
- [Snihur and Bocken 2022] Snihur, Y. and Bocken, N. (2022). A call for action: The impact of business model innovation on business ecosystems, society and planet. *Long Range Planning*, 55(6):102182.
- [Woods 2024] Woods, D. (2024). The illusion of power: Unpacking the vulnerabilities of big tech in the face of sovereign states. *Chinese Political Science Review*, pages 1–29.
- [Wooldridge 2009] Wooldridge, M. (2009). *An Introduction to MultiAgent Systems*. John Wiley & Sons, 2nd edition.