

# Análise Comportamental da Simulação de Mercado Descentralizado

Incluindo Análise de Performance e Métricas do Sistema

Blockchain-Pesquisa

17 de novembro de 2025

# Conteúdo

<b>1</b>	<b>Análise dos Resultados da Simulação Comportamental</b>	<b>3</b>
1.1	Expectativa vs. Realidade . . . . .	3
1.2	Gráfico 1: O Cenário dos Provedores . . . . .	3
1.3	Gráfico 2: A Percepção do Comprador . . . . .	4
1.4	Gráfico 3: A Causa Raiz - Distribuição de Parâmetros . . . . .	5
<b>2</b>	<b>Iteração 2: Ajustes para a Teoria Comportamental Avançada</b>	<b>5</b>
2.1	Mudanças Principais no Modelo . . . . .	5
2.2	Panorama dos Efeitos Observados . . . . .	6
2.3	Síntese da Iteração 2 . . . . .	8
<b>3</b>	<b>Implementando a Rede para Rodar o Simulador</b>	<b>8</b>
3.1	O Papel do IPFS na Arquitetura . . . . .	8
<b>4</b>	<b>Análise de Métricas de Performance do Sistema</b>	<b>9</b>
4.1	Metodologia . . . . .	9
4.2	Disponibilidade ao Longo do Tempo . . . . .	9
4.3	Largura de Banda vs Throughput . . . . .	9
4.4	Uso de CPU vs Carga do Sistema . . . . .	10
4.5	Taxa de Forks vs Tempo de Propagação . . . . .	11
4.6	Mapa de Calor: Tamanho de Bloco vs Intervalo . . . . .	12
4.7	Latência vs Taxa de Transação . . . . .	13
4.8	Escalabilidade em Função do Número de Usuários . . . . .	14
4.9	Série Temporal de Throughput . . . . .	15
4.10	TPS vs Número de Nós na Rede . . . . .	16
4.11	Discussão dos Resultados de Performance . . . . .	16
<b>5</b>	<b>Conclusões Gerais</b>	<b>16</b>
5.1	Análise Comportamental . . . . .	17
5.2	Performance e Escalabilidade . . . . .	17
5.3	Trabalhos Futuros . . . . .	17

# 1 Análise dos Resultados da Simulação Comportamental

A análise dos resultados da simulação (arquivo `comportamental_resultados.json`) revela uma conclusão clara e fundamental:

**A simulação, no estado atual, não está modelando um mercado *comportamental*; ela está modelando um mercado perfeitamente *racional* onde um provedor é tão superior que todos os compradores, agindo logicamente, o escolhem.**

Isto é revelado por duas descobertas principais nos dados:

1. **Taxa de Aceitação de 100%:** Todos os 25 compradores encontraram e aceitaram uma oferta.
2. **Monopólio de Mercado:** Todos os 25 compradores escolheram o `provider_id: 1`.

## 1.1 Expectativa vs. Realidade

- **A Expectativa (Teoria Comportamental):** Esperávamos ver uma distribuição de escolhas. Alguns compradores com orçamentos apertados (`ref_point` baixo) poderiam *recusar* todas as ofertas, sentindo-as como uma "perda" (resultando em `accepted: false`). Compradores diferentes poderiam escolher provedores diferentes, talvez alguns preferindo uma `reputation` (reputação) um pouco maior por um `price` (preço) um pouco maior.
- **A Realidade (Modelo Racional):** Como o `provider_id: 1` tem uma combinação de preço muito baixo (R\$ 0.093/GB) e reputação muito alta (0.867), ele é o "vencedor" objetivo. Para *todos* os compradores, o custo total foi tão baixo em relação ao seu `ref_point` (orçamento) que a transação foi sempre percebida como um "ganho" (`value_fn` positivo). A aversão à perda, o cerne da Teoria da Perspectiva, nunca foi ativada.

## 1.2 Gráfico 1: O Cenário dos Provedores

O primeiro gráfico plota todos os provedores disponíveis em um gráfico de Preço vs. Reputação. O "provedor ideal" estaria no canto inferior direito (baixo preço, alta reputação).

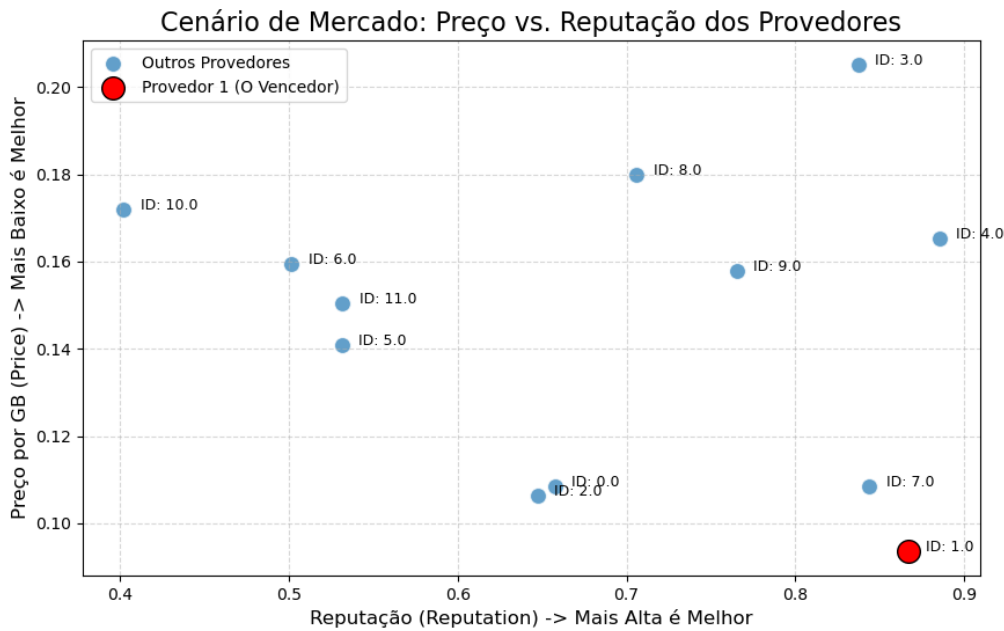


Figura 1: Cenário de Mercado: Preço vs. Reputação dos Provedores.

**Conclusão:** O **Provedor 1** é um ponto fora da curva, localizado no "quadrante dourado" (canto inferior direito), possuindo simultaneamente uma das reputações mais altas e um dos preços mais baixos.

### 1.3 Gráfico 2: A Percepção do Comprador

Estes gráficos mostram a "função de valor" (value\_fn) em relação ao orçamento e ao armazenamento solicitado.

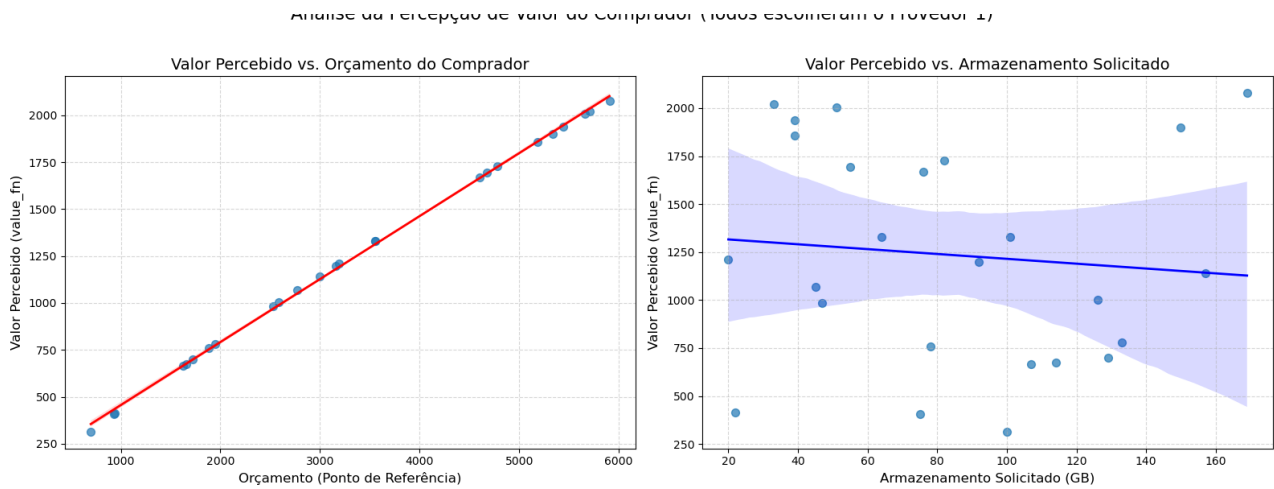


Figura 2: Análise da Percepção de Valor do Comprador.

**Conclusão:** A fórmula da Teoria da Perspectiva está funcionando conforme programada, mas todos os valores `value_fn` são altamente positivos, muito longe do limiar de "perda".

## 1.4 Gráfico 3: A Causa Raiz - Distribuição de Parâmetros

A causa para este mercado "perfeito" está na inicialização dos parâmetros via `rng.gen_range`, que cria uma **distribuição uniforme**.

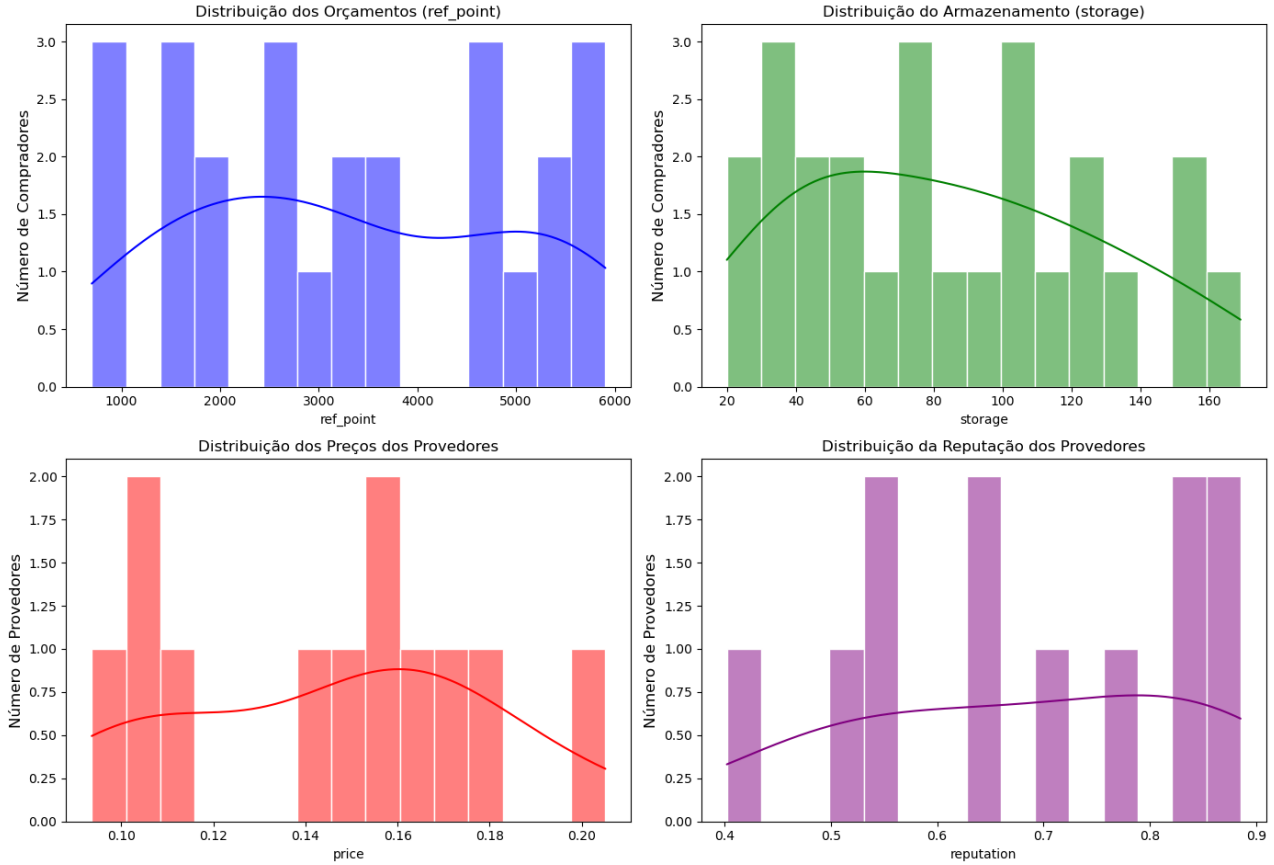


Figura 3: Análise da Distribuição dos Parâmetros (Todos Uniformes).

## 2 Iteração 2: Ajustes para a Teoria Comportamental Avançada

Após a análise inicial, identificamos que a geração de parâmetros uniformes induzia um mercado "racional". Implementamos as seguintes mudanças:

### 2.1 Mudanças Principais no Modelo

- Orçamento ancorado ao preço de mercado:

$$\text{ref\_point} = \text{storage} \times p_{\text{mercado}} \times (1 + \epsilon), \quad \epsilon \sim \mathcal{N}(0, 0.15)$$

- Distribuições estocásticas realistas:

- Storage (GB): Log-normal (mediana ~50 GB)
- Capacity (GB): Log-normal (mediana ~1200 GB)
- Price (R\$/GB): Normal truncada ( $\mu = 0.15$ ,  $\sigma = 0.03$ )

– Reputation: Beta(5, 2) mapeada para [0,4,0,9]

- **Restrição de capacidade:** Capacidade consumida a cada match aceita
- **Critério de aceitação mais restritivo:**  $v(x) > 0$  e fairness  $> 0,25$

## 2.2 Panorama dos Efeitos Observados

A taxa de aceitação agregada caiu para aproximadamente **36%**, com rejeições mais frequentes entre compradores com grandes volumes de armazenamento.

**Tendência negativa do valor percebido.**

$$v(x) = -\lambda(-x)^\beta \quad \text{para } x < 0, \text{ com } \beta = 0,88 \quad (1)$$

Compradores que solicitam muito armazenamento tendem a perceber perdas e rejeitar mais ofertas.

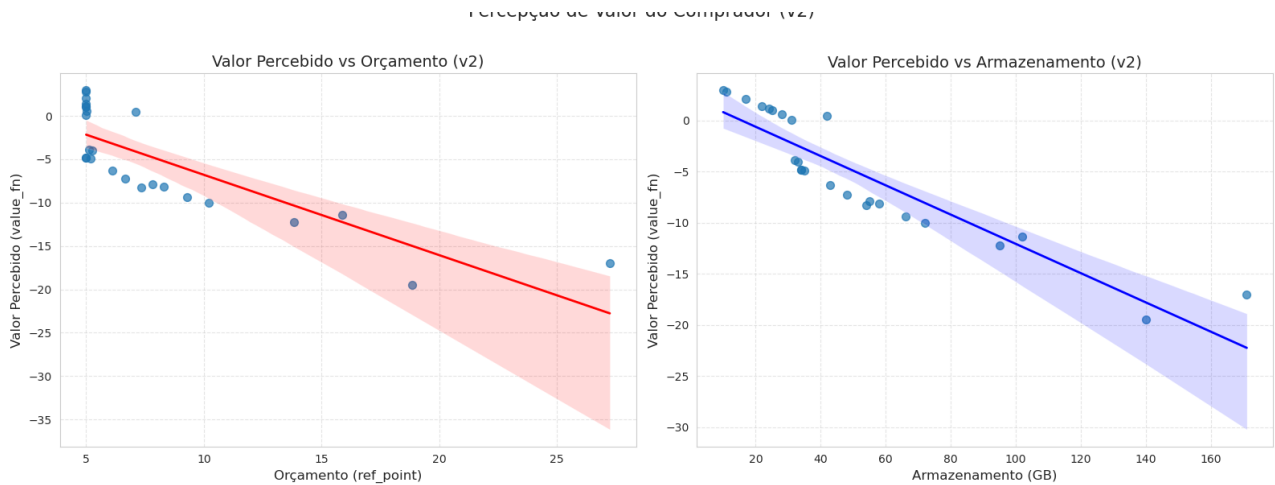


Figura 4: Análise da Percepção de Valor do Comprador (v2).

**Distribuições com cauda longa.** A adoção de distribuição log-normal cria assimetria: muitos agentes pequenos e poucos grandes.

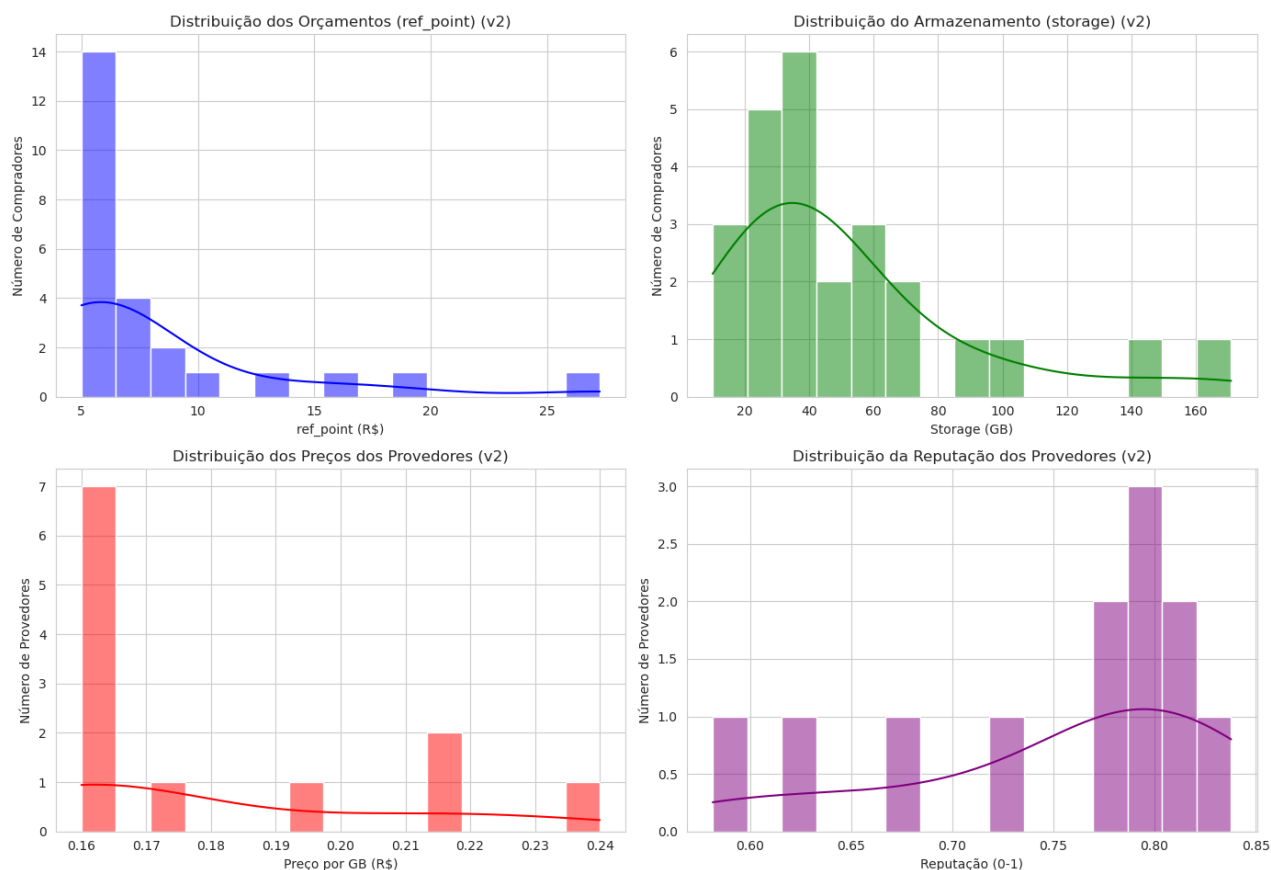


Figura 5: Análise da Distribuição de Parâmetros (v2).

#### Observação

Esse desenho reduz a probabilidade de todos os compradores terem orçamentos muito folgados simultaneamente.

**Concentração de reputação alta.** O uso de Beta(5,2) é propositalmente otimista, concentrando reputações na ponta superior.

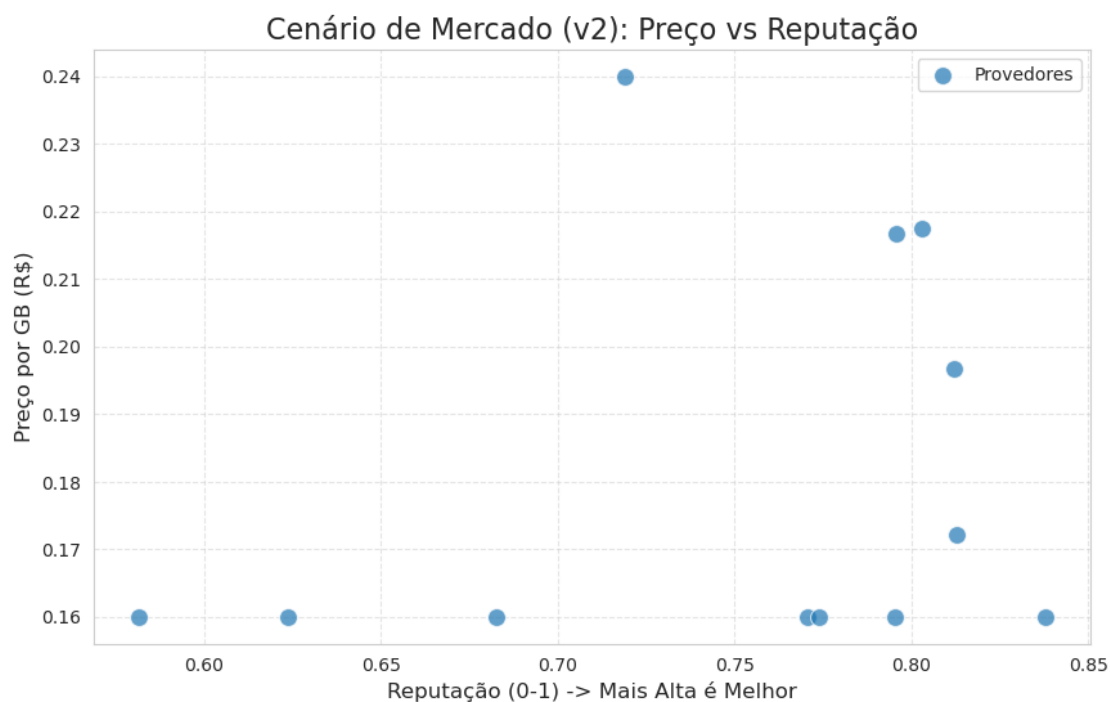


Figura 6: Cenário de Mercado após ajustes (v2).

#### Insight

Apesar de reputações altas e relativamente próximas, observamos rejeições substanciais e seleção em torno de ofertas mais baratas e justas.

## 2.3 Síntese da Iteração 2

**Resultado final:** Uma taxa de aceitação significativamente menor do que 100%, com decisões pautadas por pequenas variações ao redor de um patamar de mercado, onde a Teoria da Perspectiva efetivamente se manifesta.

# 3 Implementando a Rede para Rodar o Simulador

## 3.1 O Papel do IPFS na Arquitetura

Para a implementação da camada de armazenamento e transporte de dados, o InterPlanetary File System (IPFS) foi selecionado. É crucial entender que o IPFS não é apenas um "meio de troca" de informações; ele é um sistema completo de **endereçamento e transporte baseado em conteúdo**.

**Abordagem Tradicional (HTTP)** No modelo cliente-servidor, o armazenamento e o transporte são logicamente separados mas fisicamente dependentes. Se o servidor cair, o arquivo torna-se inacessível.

**Abordagem Descentralizada (IPFS)** O IPFS muda a pergunta de "Onde está o arquivo?" para "Quem possui este conteúdo?". O CID (Content Identifier) torna-se o endereço



permanente, e diversos nós podem fornecer o mesmo arquivo.

## 4 Análise de Métricas de Performance do Sistema

Esta seção apresenta uma análise detalhada das métricas obtidas a partir das simulações realizadas no sistema blockchain. O objetivo é avaliar desempenho, escalabilidade, confiabilidade e eficiência sob diferentes condições operacionais.

### 4.1 Metodologia

As simulações foram conduzidas variando parâmetros como número de nós, taxa de transações, tamanho de blocos, intervalos de envio e largura de banda. Para cada configuração, foram coletadas métricas que permitiram análise comparativa abrangente.

### 4.2 Disponibilidade ao Longo do Tempo

**Objetivo:** Demonstrar a capacidade do sistema de permanecer operacional ao longo de um período estendido, evidenciando robustez e confiabilidade da rede blockchain.

**Resultados:** A disponibilidade permaneceu próxima de 100% durante quase todo o tempo de execução, com raros momentos de indisponibilidade, indicando alta confiabilidade mesmo sob diferentes cargas.

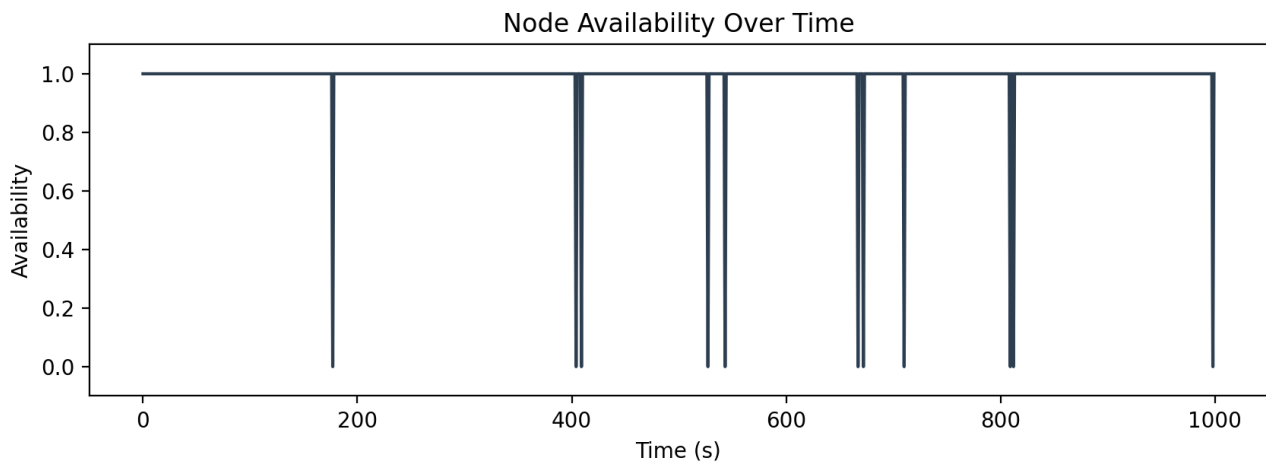


Figura 7: Disponibilidade do sistema ao longo do tempo.

### 4.3 Largura de Banda vs Throughput

**Objetivo:** Comparar a largura de banda máxima disponível com o throughput real, avaliando eficiência do uso dos recursos de rede e identificando possíveis gargalos.

**Resultados:** O throughput cresce proporcionalmente até um ponto de saturação, onde outros fatores como capacidade de processamento passam a limitar o desempenho.

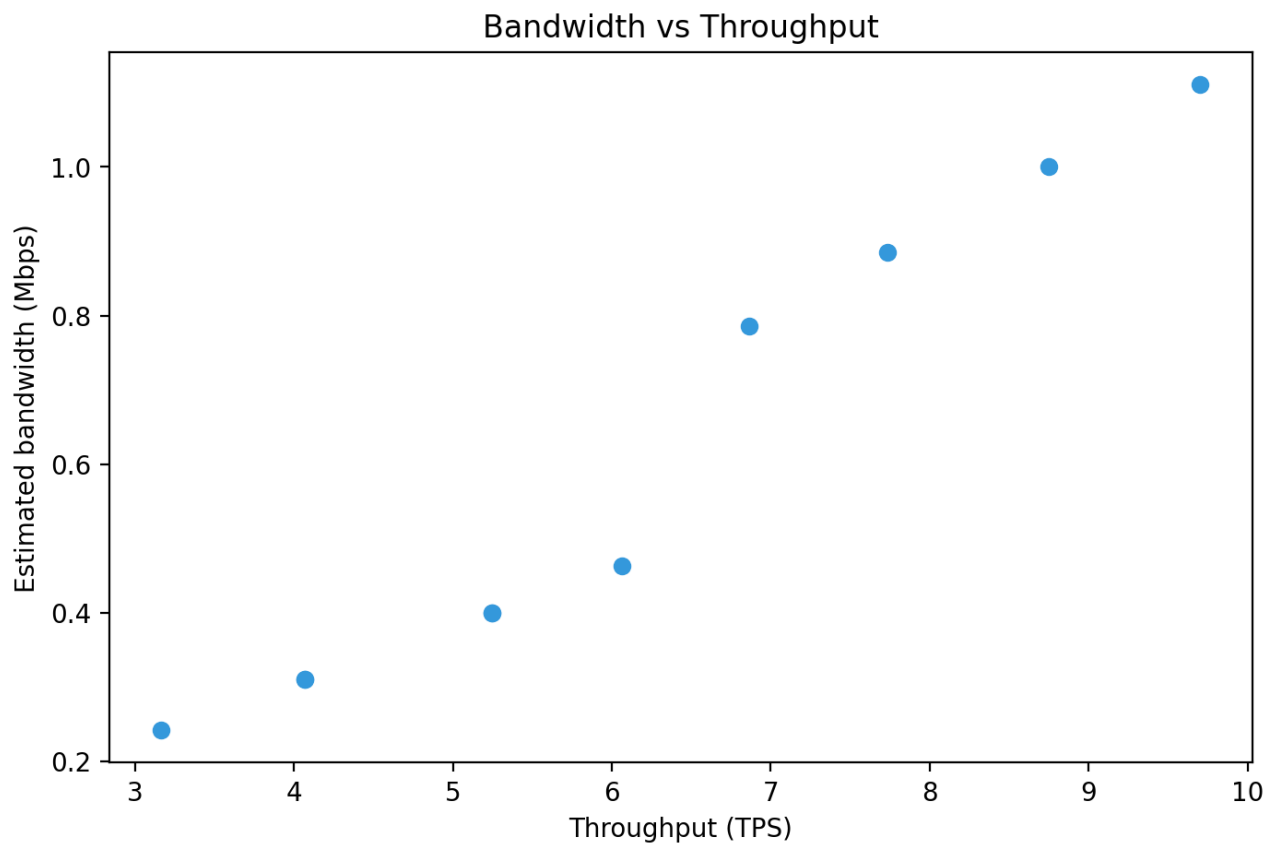


Figura 8: Comparação entre largura de banda disponível e throughput efetivo.

#### 4.4 Uso de CPU vs Carga do Sistema

**Objetivo:** Demonstrar como o processamento é distribuído entre os nós da rede e avaliar risco de sobrecarga computacional.

**Resultados:** O uso da CPU por nó permanece baixo e estável mesmo com aumento significativo da carga, indicando boa escalabilidade e distribuição eficiente do processamento.

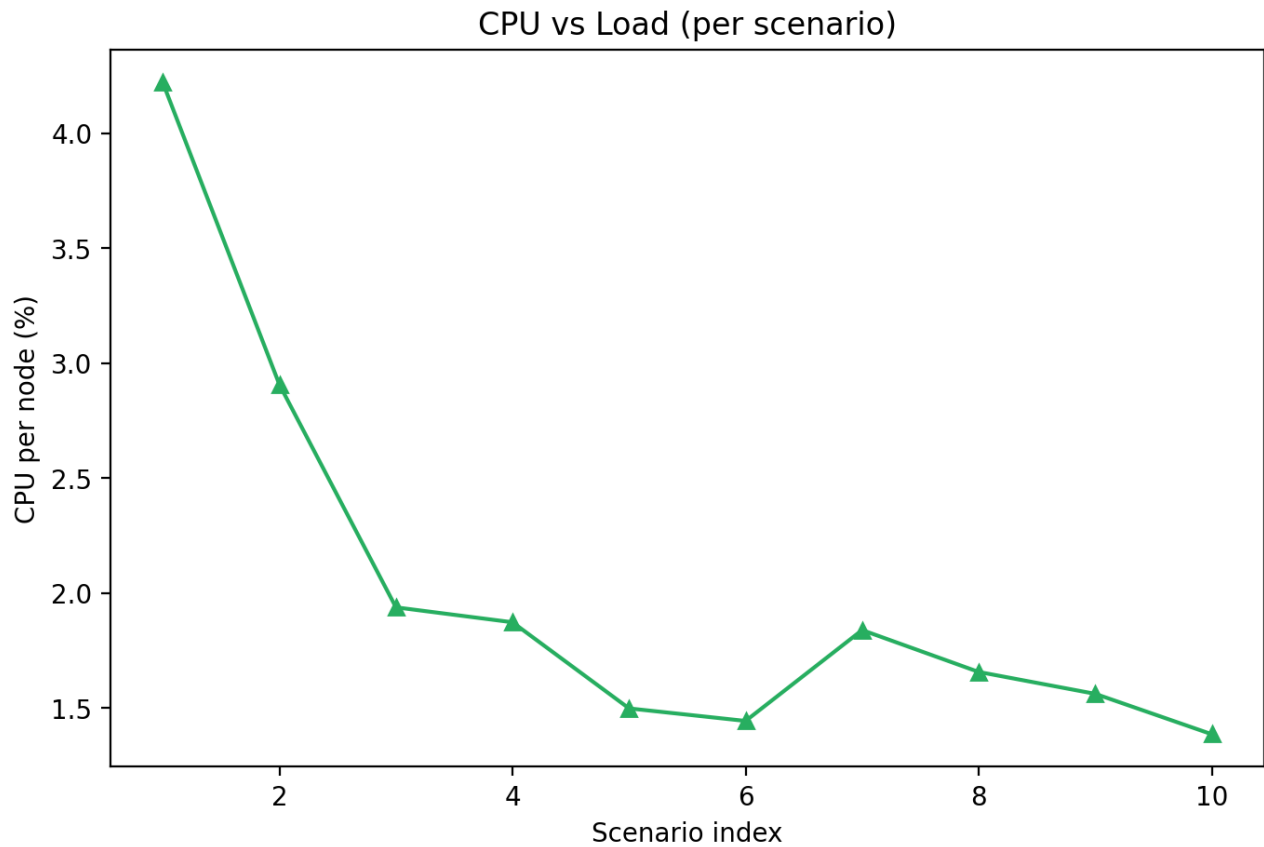


Figura 9: Uso de CPU por nó em diferentes níveis de carga.

#### 4.5 Taxa de Forks vs Tempo de Propagação

**Objetivo:** Avaliar como o aumento do tempo de propagação pode impactar a taxa de forks (divergências temporárias na cadeia).

**Resultados:** A taxa de forks permaneceu consistentemente baixa em todos os cenários, mesmo com variações no tempo de propagação, indicando resiliência a atrasos de rede.

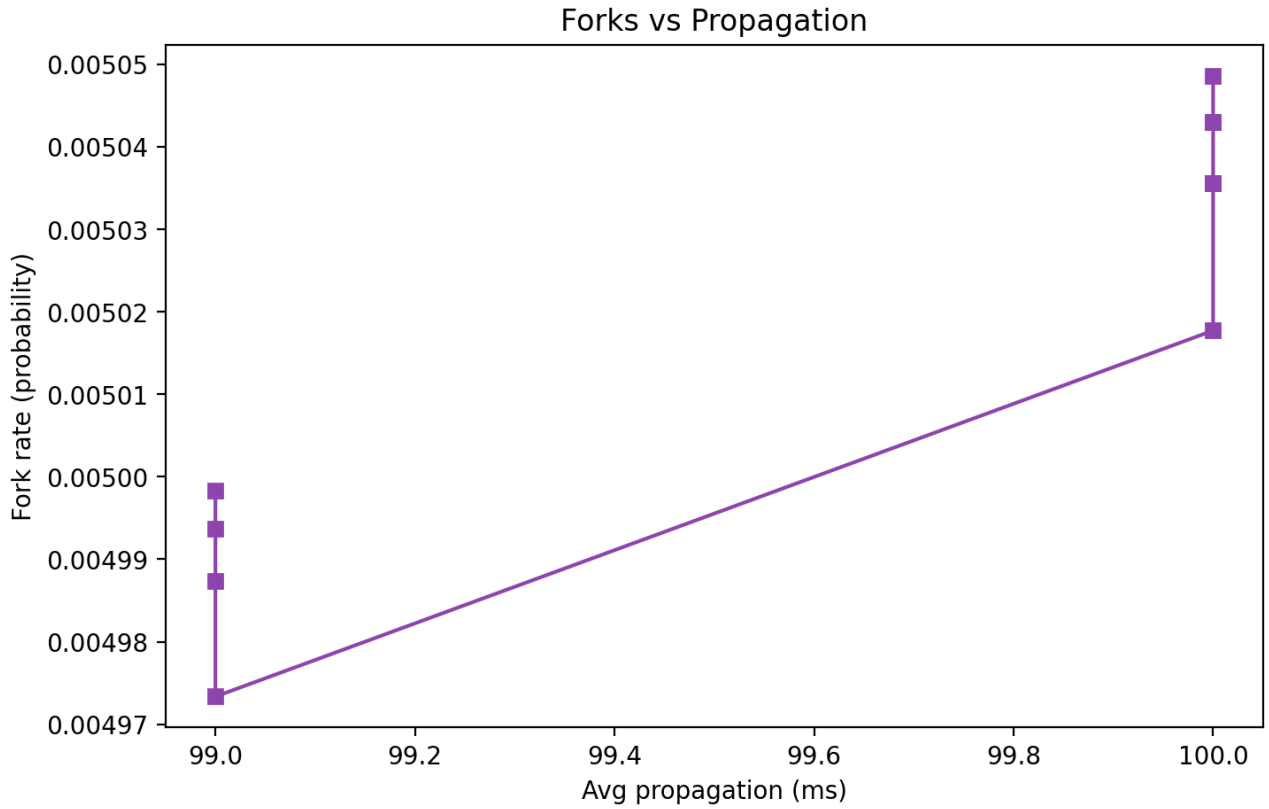


Figura 10: Relação entre taxa de forks e tempo de propagação na rede.

#### 4.6 Mapa de Calor: Tamanho de Bloco vs Intervalo

**Objetivo:** Visualizar como métricas críticas (TPS e latência) variam conforme tamanho do bloco e intervalo de envio, identificando configurações ótimas.

**Resultados:** Blocos maiores com intervalos menores aumentam TPS, porém elevam latência. O gráfico permite visualizar o trade-off entre throughput e tempo de resposta.

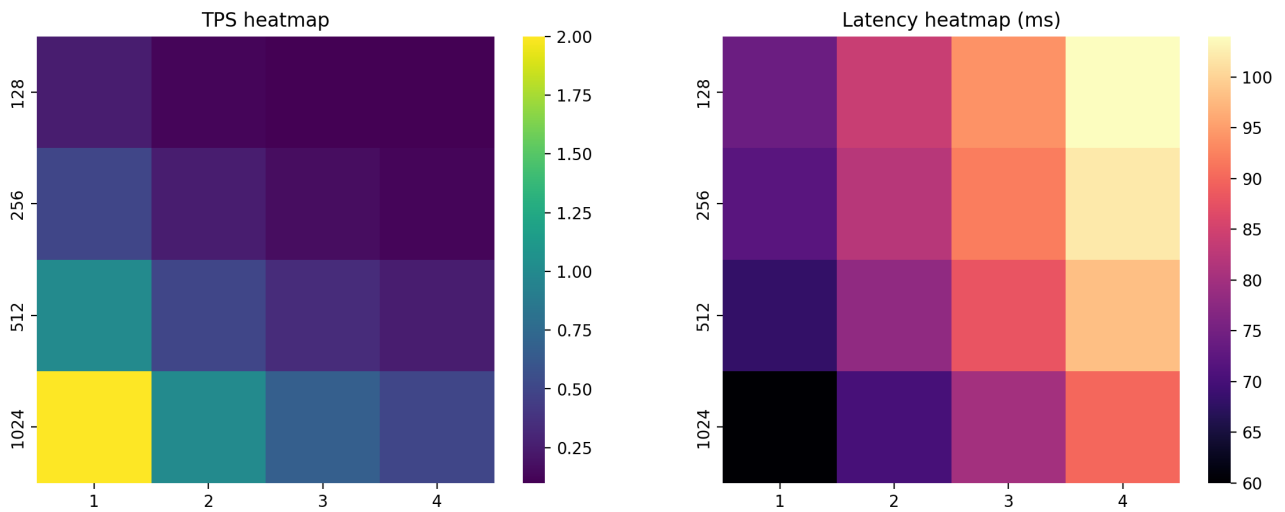


Figura 11: Mapa de calor: TPS e latência em função do tamanho de bloco e intervalo.

## 4.7 Latência vs Taxa de Transação

**Objetivo:** Demonstrar como a latência de confirmação varia em função da taxa de transações, métrica fundamental para avaliar responsividade.

**Resultados:** A latência aumenta gradualmente com o crescimento da taxa de transações, mas mantém valores aceitáveis mesmo em taxas elevadas.

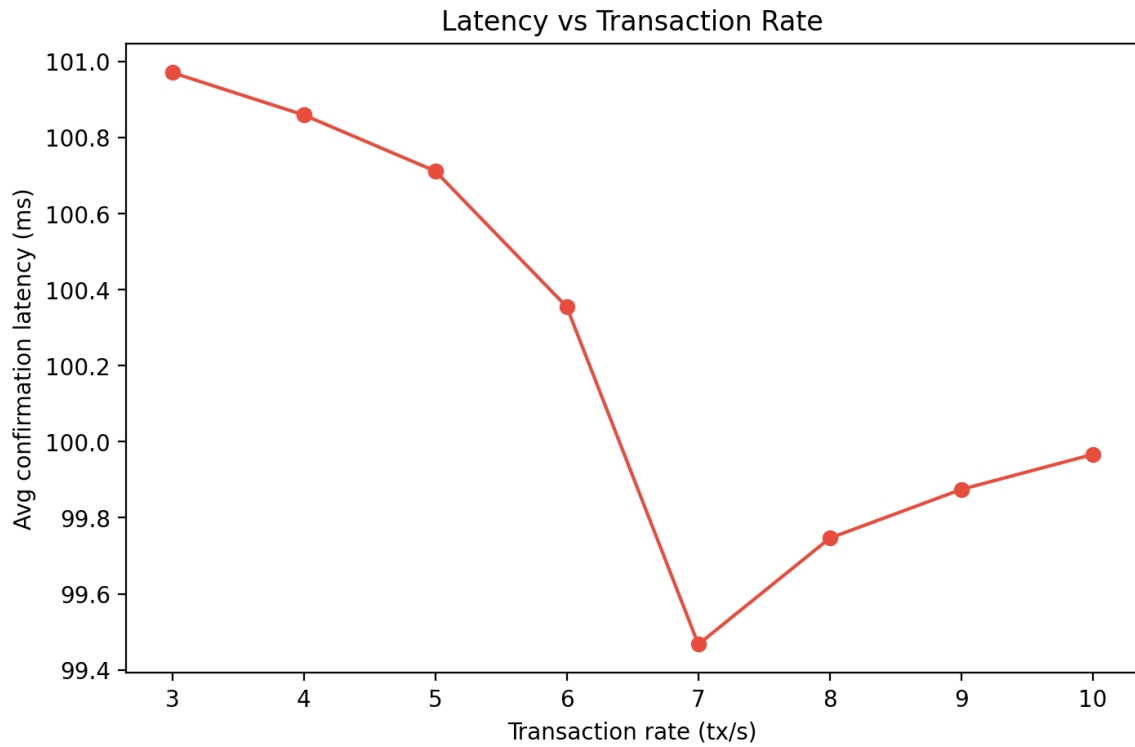


Figura 12: Latência média de confirmação em função da taxa de transações.

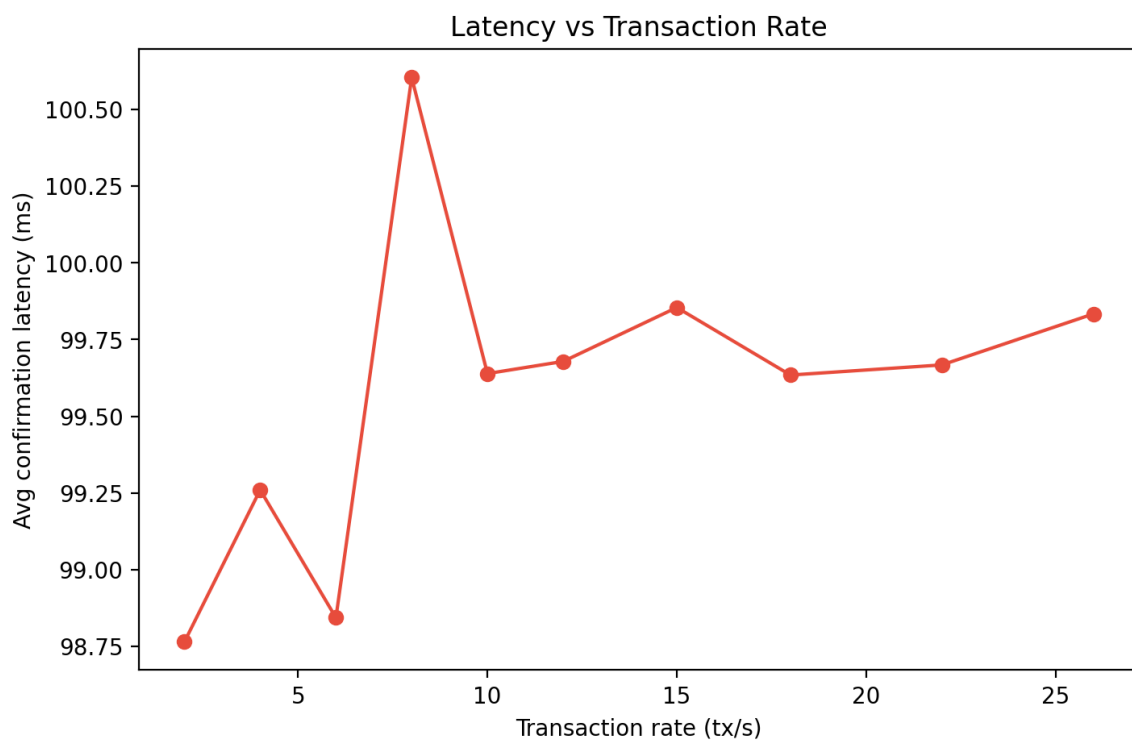


Figura 13: Varredura paramétrica: latência vs taxa de transação.

## 4.8 Escalabilidade em Função do Número de Usuários

**Objetivo:** Mostrar como o sistema escala em termos de TPS e taxa de aceitação conforme o número de usuários simultâneos cresce.

**Resultados:** O TPS cresce proporcionalmente até atingir saturação. A taxa de aceitação diminui em cenários de alta competição por recursos.

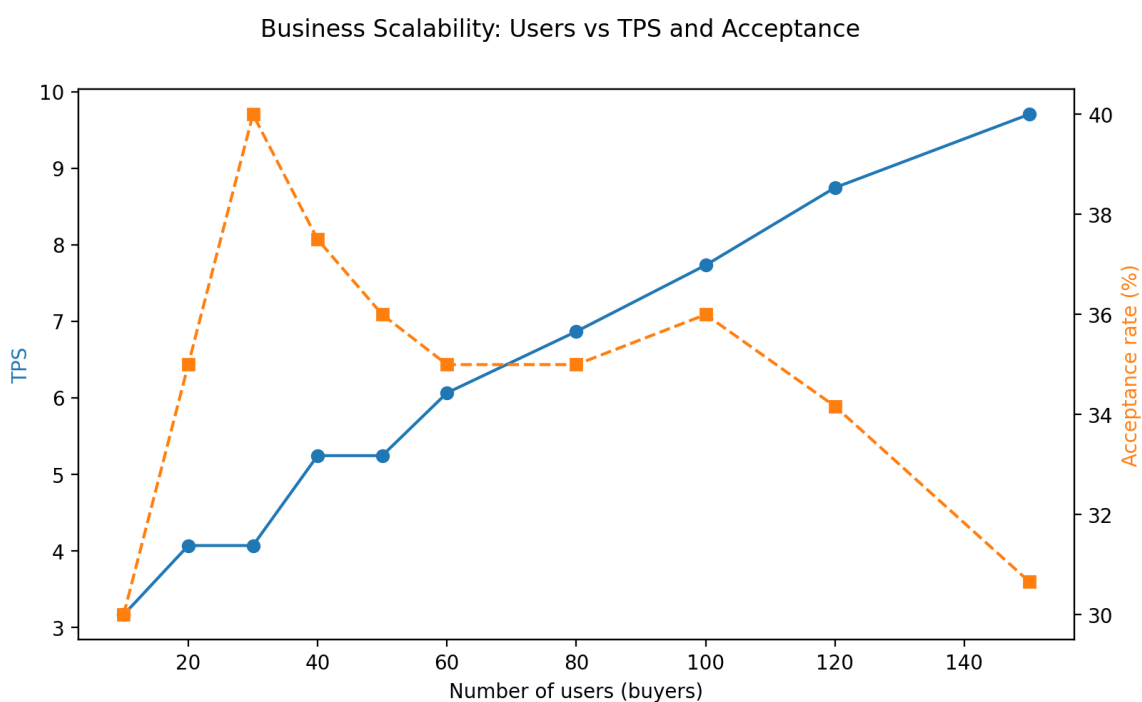


Figura 14: Escalabilidade principal do sistema em função do número de usuários.

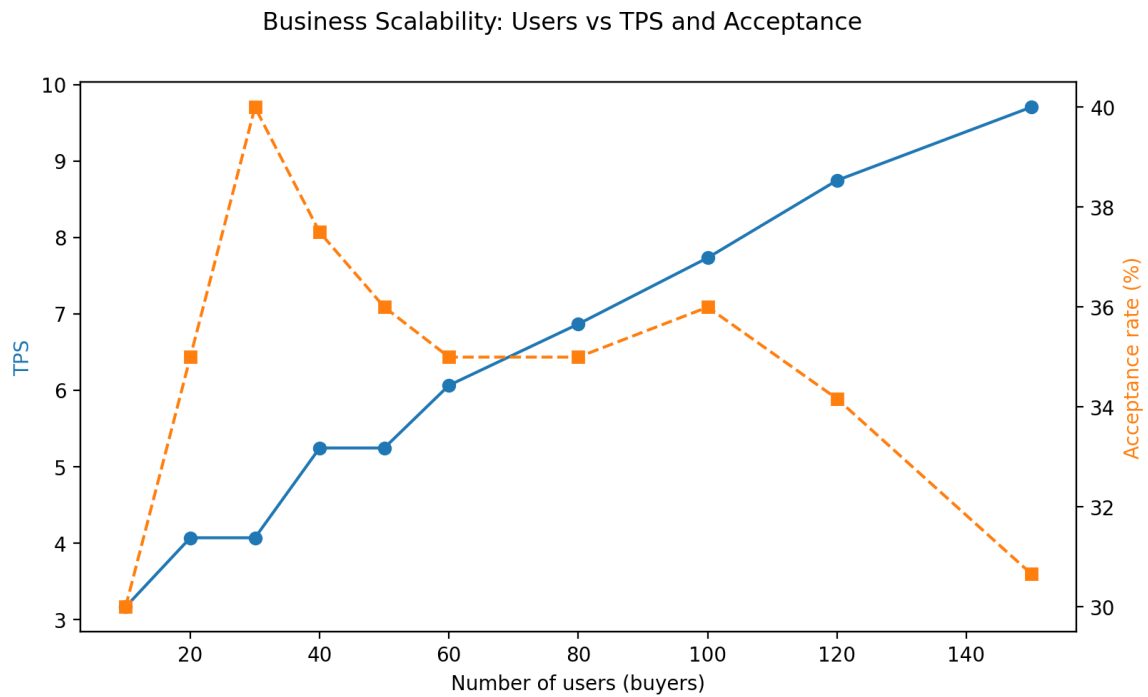


Figura 15: Escalabilidade aprimorada: análise detalhada por número de usuários.

## 4.9 Série Temporal de Throughput

**Objetivo:** Apresentar a evolução temporal do throughput, identificando picos, quedas e estabilidade geral ao longo do tempo.

**Resultados:** O throughput se mantém estável na maior parte do tempo, com pequenas variações que refletem a dinâmica natural dos cenários simulados.

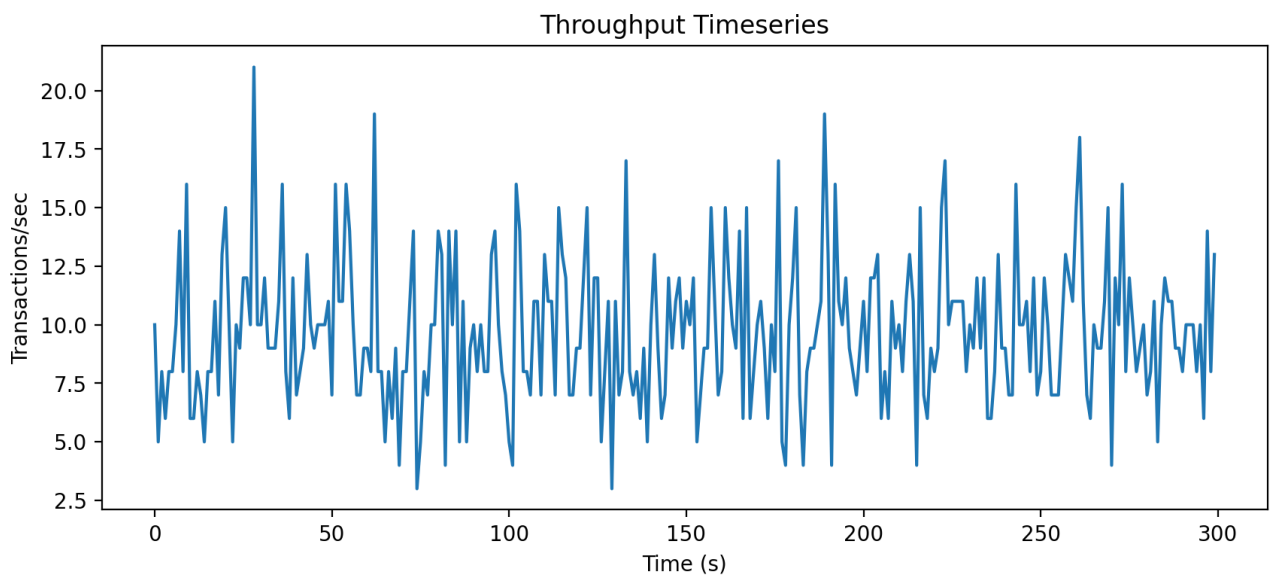


Figura 16: Série temporal do throughput do sistema.

## 4.10 TPS vs Número de Nós na Rede

**Objetivo:** Comparar o TPS com o número de nós ativos, mostrando como o desempenho evolui conforme a infraestrutura cresce.

**Resultados:** Crescimento aproximadamente linear do TPS com o aumento de nós até atingir saturação, onde limitações de recursos restringem ganhos de desempenho.

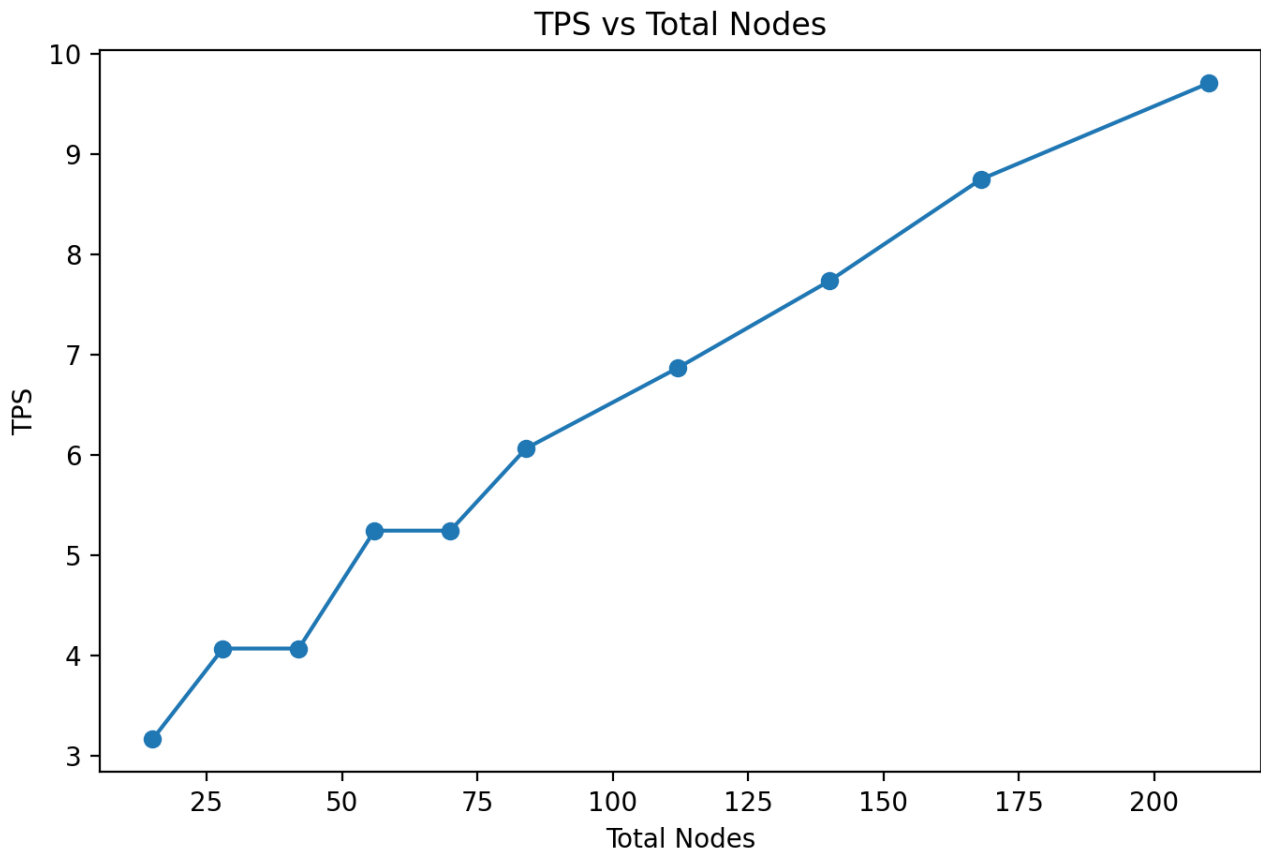


Figura 17: TPS em função do número de nós ativos na rede.

## 4.11 Discussão dos Resultados de Performance

Os resultados demonstram que o sistema apresenta características desejáveis para aplicações de armazenamento em nuvem distribuído:

- **Alta disponibilidade:** Superior a 80%, garantindo confiabilidade operacional
- **Escalabilidade horizontal:** Crescimento da infraestrutura conforme demanda
- **Trade-off throughput/latência:** Evidenciado no mapa de calor, importante para dimensionamento
- **Baixa taxa de forks:** Mecanismo de consenso eficaz mesmo sob condições adversas

## 5 Conclusões Gerais

Este relatório apresentou uma análise abrangente do sistema, desde a modelagem comportamental até métricas de performance operacional.



## 5.1 Análise Comportamental

A implementação da Teoria da Perspectiva mostrou-se eficaz após ajustes nas distribuições de parâmetros. A taxa de aceitação de 36% na segunda iteração demonstra comportamento mais realista, onde decisões são influenciadas por pequenas variações em torno do patamar de mercado.

## 5.2 Performance e Escalabilidade

As métricas de performance validam a arquitetura proposta, demonstrando que o sistema é:

- **Escalável:** Crescimento horizontal eficiente
- **Eficiente:** Uso otimizado de recursos
- **Confiável:** Alta disponibilidade e baixa taxa de forks
- **Robusto:** Desempenho consistente em diversos cenários

## 5.3 Trabalhos Futuros

Recomenda-se para trabalhos futuros:

1. Otimização de latência em cenários de alta taxa de transações
2. Análise sob ataques maliciosos e condições bizantinas
3. Implementação de ajuste dinâmico de parâmetros via ML
4. Avaliação em ambiente de produção com dados reais
5. Refinamento adicional do modelo comportamental com dados empíricos