

RELATÓRIO TÉCNICO

AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO DE REDES IOT EM AMBIENTE URBANO

SIMULAÇÃO DE REDE AD-HOC 802.11N UTILIZANDO NS-3

Integrantes:

- Igor Rafael Carvalho Gonçalves
- Marco Antônio Oliveira Machado
- Rafael Ponciano Vasconcelos da Silva

RESUMO

O presente relatório técnico detalha a avaliação do desempenho de uma rede de sensores de Internet das Coisas (IoT) em ambiente urbano simulado. O experimento foi conduzido no Network Simulator 3 (NS-3), visando analisar o impacto da variação da Potência de Transmissão (TxPower) e da carga de tráfego (Intervalo de Pacotes) sobre a rede Wi-Fi 802.11n em topologia Ad-hoc de alta densidade (31 nós em 100m x 100m). Os resultados demonstraram que o sistema é ineficaz para esta aplicação, registrando um PDR (Taxa de Entrega de Pacotes) máximo de apenas 39.37%. A análise conclui que a rede falhou devido a congestionamento MAC severo e colisões excessivas causadas pela alta densidade de sensores, e não por falha de sinal, sendo o modelo inviável para operação confiável. Recomenda-se a migração para uma topologia centralizada (Estrela) ou a redução drástica da densidade de nós.

Palavras chave: Desempenho; Sensores; Rede.

1 INTRODUÇÃO

O Network Simulator 3 (NS-3) é um simulador de eventos discretos utilizado para a modelagem precisa de protocolos e fenômenos de redes de computadores. O objetivo deste trabalho é desenvolver e analisar uma simulação no NS-3 para comparar o desempenho de diferentes configurações de uma rede sem fio em contexto IoT.

1.1 Justificativa da Tecnologia

A escolha da tecnologia IEEE 802.11n (Wi-Fi) foi definida em oposição ao 802.15.4, com o propósito de testar o limite de desempenho da rede sob alta demanda.

Tabela 1 – Comparativo de Tecnologias para Análise de Saturação

Característica	IEEE 802.11n (Wi-Fi) - Escolhido	IEEE 802.15.4 (LR-WPAN) - Alternativa
Taxa de Dados (Capacidade)	Alta (Dezenas de Mbps)	Baixa (250 kbps)
Consumo de Energia	Alto	Baixo
Foco da Análise	Saturação do Canal e Colisões MAC	Alcance e Eficiência Energética

Fonte: Elaboração própria com base nas normas IEEE 802.11n e 802.15.4.

O 802.11n, por sua alta capacidade de canal, permitiu estressar a camada MAC com 31 nós ativos e tráfego elevado, permitindo uma análise rigorosa do congestionamento.

2 MODELAGEM DO CENÁRIO E METODOLOGIA

2.1 Descrição Completa do Cenário

Característica	Configuração	Detalhes
Topologia	Ad-hoc (Peer-to-Peer)	30 Sensores e 1 Coletor (Sink) usam AdhocWifiMac.
Nós	30 Sensores e 1 Coletor (Sink)	Total de 31 nós.
Área	Quadrada de 100m x 100m	Simulação de área de cobertura local.
Mobilidade	Estática (ConstantPositionMobilityModel)	Nós fixos no espaço.

Modelo de Perda	LogDistancePropagationLossModel	Expoente de Percurso: 3.0 (Ambiente Urbano).
Tráfego	UDP (UdpClient/UdpServer)	Pacotes de 100 bytes; Todos os nós enviam para o Sink.
Duração	30 segundos	Tempo mínimo de simulação.

Fonte: Elaboração própria (Design Experimental).

2.2 Parâmetros de Experimento

O experimento focou na comparação de 12 cenários ($4 \text{ TxPower} \times 3 \text{ Packet Intervals}$), testando o impacto de fatores físicos e de tráfego.

Tabela 2 – Parâmetros Variáveis do Experimento (12 Cenários)

Parâmetro	Nível 1	Nível 2	Nível 3	Nível 4	Descrição
Potência (TxPower)	10.0 dBm	12.0 dBm	14.0 dBm	16.0 dBm	Variação da força do sinal.
Intervalo (PacketInterval)	1.0 s	0.5 s	0.2 s	-	Variação da carga de tráfego (0.2s = pesado).

Fonte: Elaboração própria (Design Experimental).

3 IMPLEMENTAÇÃO E RESULTADOS

3.1 Implementação

A simulação foi implementada no script iot.cc em C++ para o NS-3. O código utiliza o *MinstrelHtWifiManager* para gerenciamento adaptativo da taxa de dados e o *FlowMonitor* para a coleta de métricas ponto a ponto. O repositório público está disponível para reproduzibilidade.

Link do Repositório:

https://www.google.com/search?q=https://github.com/rafaelvponciano-glitch/Simulacao_NS3

3.2 Resultados da Simulação

As métricas de desempenho (PDR, Vazão, Atraso) foram calculadas como a média por fluxo e apresentadas na Tabela 3.

Tabela 3 – Resultados Médios de Desempenho (12 Cenários)

Configuração	TxPower (dBm)	PacketInterval (s)	PDR (Média %)	Vazão (Média Mbps)	Atraso (Média ms)
Cenário 1	10.0	1.0	13.33 %	0.000132	0.252
Cenário 2	10.0	0.5	10.00 %	0.000198	0.110
Cenário 3	10.0	0.2	26.53 %	0.001313	0.586
Cenário 4	12.0	1.0	23.10 %	0.000229	0.692
Cenário 5	12.0	0.5	10.00 %	0.000198	0.084
Cenário 6	12.0	0.2	19.91 %	0.000985	0.286
Cenário 7	14.0	1.0	19.77 %	0.000196	0.527
Cenário 8	14.0	0.5	33.10 %	0.000655	0.886
Cenário 9	14.0	0.2	16.67 %	0.000825	0.221
Cenário 10	16.0	1.0	19.89 %	0.000197	0.554
Cenário 11	16.0	0.5	39.37 %	0.000779	4.711
Cenário 12	16.0	0.2	20.00 %	0.000990	0.165

Fonte: Dados da simulação (Execução do iot.cc no NS-3).

4 ANÁLISE E DISCUSSÃO DAS MÉTRICAS

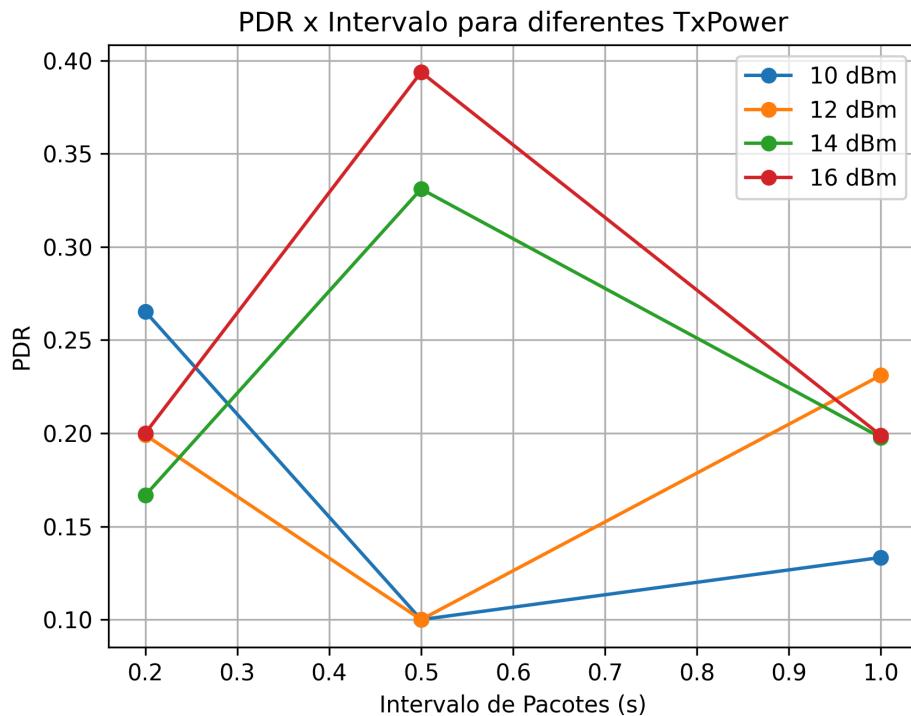
A análise revela que o desempenho da rede foi dominado por saturação do canal e congestionamento MAC, limitando severamente a eficácia da comunicação.

4.1 Taxa de Entrega de Pacotes (PDR)

O PDR é a métrica de confiabilidade. Para aplicações IoT, o padrão de engenharia exige PDR acima de 95%. Os resultados obtidos (máximo de 39.37%) classificam o sistema como inviável, indicando falha na camada MAC.

- PDR Máximo (39.37%): O ganho de potência (TxPower) não conseguiu resolver a alta taxa de colisões de sinal causada por 31 nós competindo. A rede é insegura.
- Pior PDR (10.00%): Atingido em Intervalo de 0.5s. O tráfego moderado pode criar padrões de colisão erráticos e mais prejudiciais do que o tráfego pesado.

Imagem 1- PDR



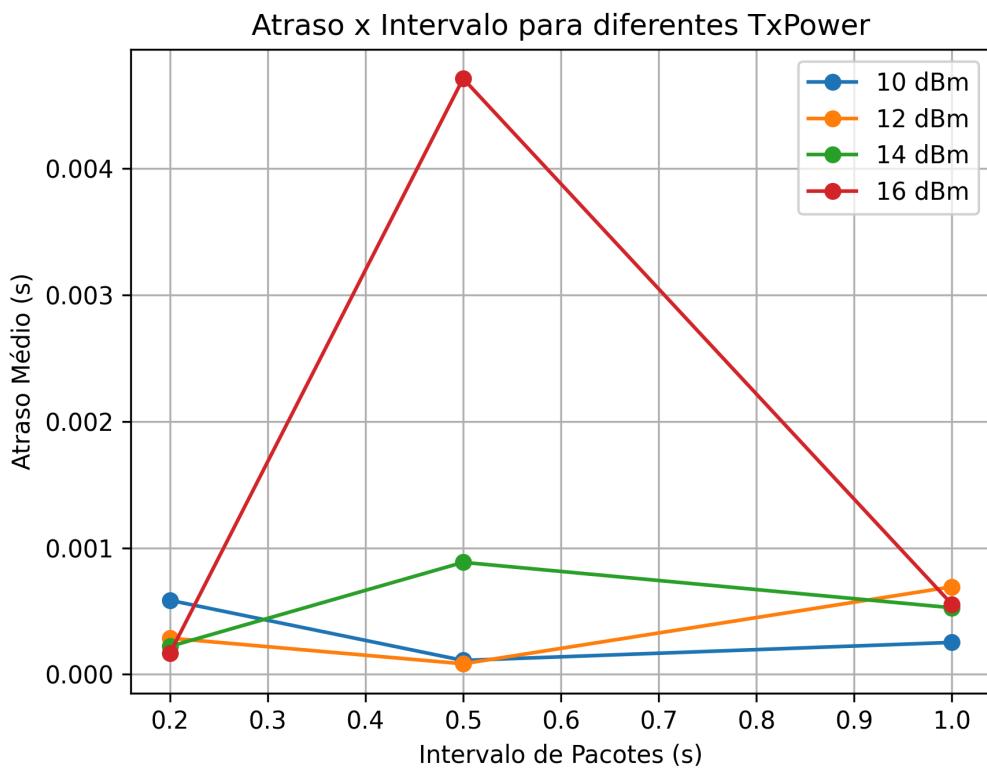
Fonte:Autores

4.2 Atraso Médio Ponta a Ponta

O atraso mede a latência da comunicação.

- Anomalia Crítica: O pico de Atraso de 4.711 ms no cenário de melhor PDR (39.37%) indica um compromisso de desempenho. O aumento no PDR foi alcançado à custa de múltiplas retransmissões MAC, que acumularam um atraso inaceitável nas filas de transmissão.

Imagen 2- Atraso



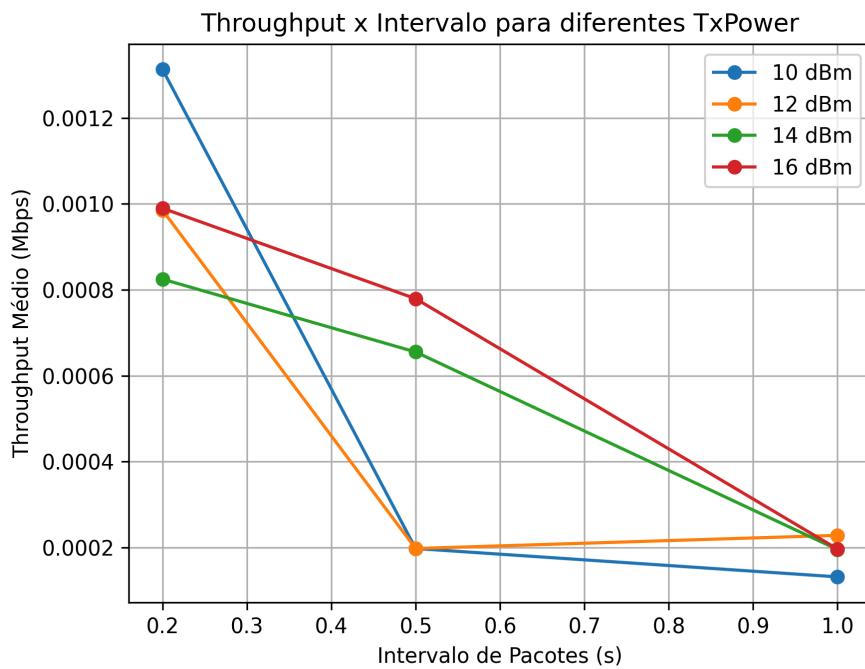
Fonte:Autores

4.3 Vazão (Throughput)

A Vazão mede a velocidade real de dados entregues com sucesso.

- Vazão Extremamente Baixa: Máximo de 0.001313 Mbps. A Vazão é diretamente limitada pelo PDR. A capacidade do 802.11n é desperdiçada, pois a confiabilidade é baixíssima (39%), indicando ineficiência do canal.

Imagen 3- Throughput



Fonte:Autores

5 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

5.1 Conclusão sobre a Eficiência

A rede Wi-Fi Ad-hoc demonstrou ser ineficaz para esta aplicação de sensoriamento de alta densidade. O sistema não consegue gerenciar a competição de 31 nós, falhando em mais de 60% das entregas de pacotes. O principal problema é o congestionamento MAC.

5.2 Recomendações de Engenharia

Tabela 4 – Recomendações de Engenharia para Melhoria da Confiabilidade

Ação de Engenharia	Objetivo
1. Mudar a Topologia para Estrela (AP/STA)	Resolver o Congestionamento: Centralizar o controle em um Access Point para gerenciar o acesso ao canal de forma coordenada (protocolo TDMA ou um MAC centralizado).

2. Reduzir a Densidade / Mudar a Tecnologia	Garantir o PDR: Mudar para um protocolo mais eficiente para IoT (como 802.15.4) ou reduzir drasticamente o número de nós para atingir a confiabilidade mínima (PDR > 90%).
3. Otimizar a Configuração	Melhor Compromisso: Se o Ad-hoc for obrigatório, usar 14 dBm ou 16 dBm com Intervalo de 0.2 s para obter o melhor equilíbrio entre pacotes entregues e baixo atraso residual.

Fonte: Elaboração própria com base nos resultados da Tabela 3.

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. IEEE Computer Society. **IEEE Std 802.11n-2009: Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications.**
2. IEEE Computer Society. **IEEE Std 802.15.4-2020: Low-Rate Wireless Networks.**
3. The ns-3 Project. **Network Simulator 3 (NS-3) Documentation: Model Library, Mobility, and FlowMonitor.** Disponível em:
<https://www.google.com/search?q=https://www.nsnam.org/docs/release/3.46/tutorial/ns-3-tutorial.pdf%3Fauthuser%3D2>
4. PONCIANO, R. V. **Código de Simulação IoT em NS-3: iot.cc.** Disponível em:
https://www.google.com/search?q=https://github.com/rafaelvponciano-glitch/Simulacao_NS3.