

Análise da Influência da Interface de Rede no Desempenho de Benchmarks NAS

Bruno dos Santos, Miguel de Castro, Vinícius Garcia Pinto

Centro de Ciências Computacionais
Universidade Federal do Rio Grande (FURG)
Rio Grande – RS – Brasil

{bruno.santos164439,miguelmedinadecastro}@gmail.com
vinicius.pinto@furg.br

Resumo. *Este estudo procura entender a influência das interfaces de rede no desempenho já que mesmo com interfaces dezenas de vezes mais rápidas, o ganho de desempenho global não é necessariamente proporcional à largura de banda. Foram realizados testes com as interfaces Ethernet e InfiniBand visando comparar e determinar se os resultados são compatíveis com a diferença bruta de desempenho entre elas. Concluiu-se que houve um impacto considerável, embora não totalmente proporcional à diferença bruta de velocidade.*

1. Introdução

A constante demanda por poder computacional impulsiona o uso de arquiteturas distribuídas, onde a interconexão de múltiplos nós em rede permite superar as limitações de máquinas isoladas. Contudo, a eficiência desses sistemas depende da infraestrutura de rede, que frequentemente é um gargalo para a escalabilidade das aplicações paralelas.

Este trabalho avalia o desempenho de um *cluster* equipado com duas interfaces de rede de distintas capacidades, comparando a tecnologia de alto desempenho Infiniband com a rede Ethernet convencional. A metodologia consistiu em medir o desempenho bruto de rede (banda) com o programa *OSU Micro-Benchmarks* [OSU 2026] e, posteriormente, avaliar o impacto em processamento intensivo através de três aplicações do *NAS Parallel Benchmarks* (NPB) [NAS 2026].

O restante deste artigo está organizado da seguinte maneira: a Seção 2 descreve os trabalhos relacionados; a Seção 3, detalha a metodologia empregada no estudo, incluindo as aplicações testadas e o ambiente experimental empregado; a Seção 4, apresenta a análise dos resultados obtidos e por fim a Seção 5 descreve as considerações finais.

2. Trabalhos Relacionados

A literatura foca bastante em como os protocolos de rede afetam o desempenho. [Romanow and Bailey 2003] discutem como o *Remote Direct Memory Access* (RDMA), tecnologia do Infiniband, evita cópias desnecessárias na memória através do chamado *copy avoidance*. Essas características do InfiniBand explicam parte da superioridade observada em *benchmarks* com alta comunicação, como FT e IS do NPB, onde a comunicação rápida e eficiente é crucial. Já [Wan et al. 2012] analisam o protocolo TCP da rede Ethernet, mostrando que ele sobrecarrega a CPU e exige mais acessos à memória para processar os pacotes. Esse comportamento ajuda a entender os resultados: a Ethernet satura mais rápido e ainda consome recursos de processamento que seriam do *benchmark*,

criando o gargalo que foi observado na Seção 4. Somado a isso, esse tipo de anomalia ou variação brusca de desempenho para tamanhos de mensagem intermediários (como 16 KB) também foi relatado na literatura como uma limitação arquitetural intrínseca de certas interfaces de rede [Vogel et al. 2017].

3. Metodologia

Os experimentos foram conduzidos no aglomerado de computadores (*cluster*) Tuco-Tuco da Universidade Federal do Rio Grande (FURG). Para a coleta de dados, foram utilizados dois nós de computação interconectados tanto por *Infiniband* quanto por *Ethernet*.

O *OSU Micro-Benchmarks* foi utilizado para avaliar o desempenho de rede ponto a ponto. Este *benchmark* apresenta uma série de testes que permitem medir parâmetros como a latência e a largura de banda, i.e., vazão máxima sustentada de dados no nível da rede. Embora o conjunto inclua um grande número de testes para operações coletivas, operações não-bloqueantes e operações ponto a ponto, para este estudo, focou-se na análise da largura de banda utilizando o comando `osu_bw`, que opera enviando uma sequência fixa de mensagens consecutivas entre um emissor e um receptor para determinar a taxa máxima de transferência de dados. Foram realizados 30 testes para compor os resultados e obter as médias apresentadas nos gráficos da Seção 4.

O NPB desenvolvido pela NASA, consiste em programas derivados de algoritmos típicos de Dinâmica de Fluídos (CFD), projetados para avaliar o desempenho de super-computadores. Foram selecionados três *benchmarks* com requisitos de rede distintos:

- IS (*Integer Sort*) realiza a ordenação de inteiros e avalia o desempenho de operações de comunicação *all-to-all*;
- FT (*Fourier Transform*), resolve equações diferenciais parciais e exige um alto volume de troca de dados na rede;
- EP (*Embarrassingly Parallel*) fornece uma estimativa do potencial máximo de computação em ponto flutuante sem comunicação significativa.

A escolha por estes três *benchmarks* justifica-se pelas diferentes demandas sobre a rede que cada um impõe. Enquanto o IS apresenta um volume alto e irregular de comunicação em pacotes pequenos, o FT apresenta um padrão regular e com pacotes grandes. Já o EP depende muito pouco da rede, servindo como uma base de referência para os demais. Todos os testes foram executados utilizando a Classe B, qual define um tamanho de problema substancialmente maior que a classe introdutória (A), permitindo uma análise mais rigorosa da escalabilidade e do impacto dos protocolos de rede no tempo de execução.

O ambiente experimental foi composto por um *cluster* cujos nós possuem dois processadores Intel Xeon E5: E5-2640 v3 e operam sob o sistema operacional CentOS Linux 7. Para a compilação de ambos os *benchmarks*, utilizou-se o compilador GCC (versão 12.1.0) em conjunto com a biblioteca OpenMPI (versão 4.1.7). A infraestrutura de rede foi o foco central dos testes, comparando-se uma interface Ethernet (1 Gbps) com uma interconexão de alto desempenho InfiniBand, operando a 56 Gbps. No OSU (versão 7.3), os testes de largura de banda (`osu_bw`) foram executados com dois processos distribuídos entre dois nós. Já para o NPB (versão 3.4.2), o único parâmetro configurado foi a Classe B, garantindo uma carga de trabalho robusta o suficiente para evidenciar as discrepâncias de desempenho entre as duas tecnologias de rede avaliadas.

4. Resultados

A Figura 1 apresenta o desempenho bruto das duas interfaces de rede conforme reportado pelo teste `osu_bw`. No eixo horizontal temos os 23 valores de tamanho de mensagem utilizados enquanto no eixo vertical temos a largura de banda medida. Observando os dados da rede Ethernet (curva laranja), vemos que a largura de banda estabiliza em $\approx 129\text{MB/s}$. Cabe ressaltar que para tamanhos de mensagem entre 1KB (2^{10}) e 32KB (2^{15}), os valores medidos excedem muito a capacidade bruta desta rede que é de $\approx 125\text{MB/s}$. Supõe-se que tais valores irreais sejam causados por algum efeito de cache ou agregação. Já para a rede InfiniBand (azul) vemos um crescimento contínuo até a estabilização em valores próximos a 6300MB/s , levemente inferior ao pico teórico desta tecnologia que é de $\approx 7000\text{MB/s}$.



Figura 1. Desempenho da Rede com OSU: InfiniBand vs Ethernet

Os resultados do NPB revelam uma clara dependência entre o perfil de comunicação da aplicação e a eficiência da rede usada. No EP (Figura 2), a variação de desempenho entre as interfaces foi de 0,4%. Como esta aplicação é puramente computacional, a infraestrutura de rede não atua como limitador. Para validar essa equivalência, aplicou-se o cálculo da margem de erro (definida como três vezes o desvio padrão), cujos valores ($\sigma_{inf} = 0,41$ e $\sigma_{eth} = 0,73$) confirmaram que os resultados são estatisticamente equivalentes, sem diferenças significativas na vazão ou no tempo de execução.

Já os *benchmarks* FT (Figura 3) e IS (Figura 4) mostraram o impacto crítico da interconexão em algoritmos com alta dependência de rede. No FT, que exige um alto volume de troca de dados conforme descrito na Seção 3, o InfiniBand reduziu o tempo de execução médio de 49,43s para 26,09s. O cenário severo aconteceu no IS, onde a rede Ethernet elevou o tempo de execução médio de 1,91s para 4,68s (aumento de 140%). Essa discrepância ocorre porque a rede Ethernet satura em mensagens acima de 2^{15} bytes (Figura 1), tornando-se o gargalo primário para a comunicação *all-to-all*. Nesse caso, a baixa variabilidade nos dados do InfiniBand ($\sigma_{IS} = 0,06$) demonstra que a tecnologia de alto desempenho não apenas acelera a execução, mas oferece uma estabilidade de rede superior para cargas de trabalho como as da classe B.

5. Conclusões

Este trabalho apresentou uma análise comparativa de desempenho entre as interfaces de rede Ethernet e InfiniBand utilizando os *benchmarks* OSU e NPB. Os resultados obtidos demonstram que, enquanto aplicações com baixa densidade de comunicação (EP) são indiferentes à tecnologia de rede, algoritmos intensivos em trocas de mensagens (FT e IS) sofrem severa degradação na rede Ethernet devido à saturação observada em mensagens

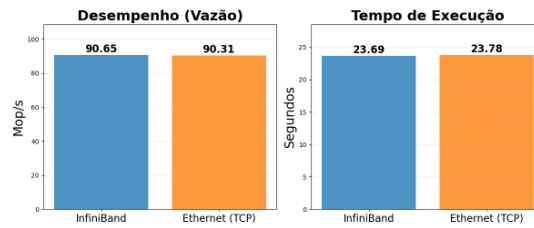


Figura 2. Benchmark EP, Classe B

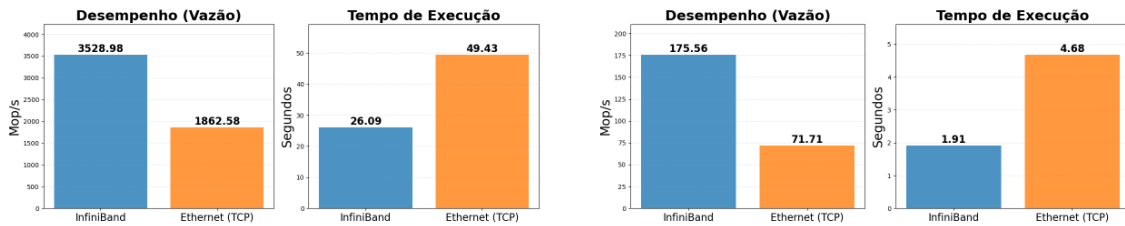


Figura 3. Benchmark FT, Classe B

Figura 4. Benchmark IS, Classe B

acima de 2^{15} bytes. Observou-se o uso de InfiniBand permitindo à aplicação operar de forma significativamente mais eficiente devido a diminuição do tempo de ociosidade da CPU, atingindo execuções 2,4 vezes mais rápidas no IS e 1,9 vezes no FT. Contudo, mesmo com esta vantagem se suspeita que o ganho de desempenho encontra um limite no teto operacional da CPU (2.60 GHz), passando esta a ser o gargalo primário assim que a latência de rede é diminuída ao ponto de ser desprezível. Como trabalhos futuros, pretende-se expandir os testes para um maior número de nós do *cluster*, avaliar o impacto dessas redes em outras aplicações paralelas, executar outros *benchmarks* de rede como NetPIPE (*Network Protocol Independent Performance Evaluator*) e executar mais testes para avaliar a hipótese do teto operacional da CPU.

Referências

- [NAS 2026] NAS, N. A. S. D. (2026). NAS Parallel Benchmarks (NPB). <https://www.nas.nasa.gov/software/npb.html>. Acesso em: 24 fev. 2026.
- [OSU 2026] OSU, O. S. U. (2026). OSU Micro-Benchmarks: MVAPICH Project. <https://mvapich.cse.ohio-state.edu/benchmarks/>. Acesso em: 24 fev. 2026.
- [Romanow and Bailey 2003] Romanow, A. and Bailey, S. (2003). An overview of rdma over ip. In *Proceedings of the First International Workshop on Protocols for Fast Long-Distance Networks (PFLDnet 2003)*, page 27.
- [Vogel et al. 2017] Vogel, A., Griebler, D., Schepke, C., and Fernandes, L. G. (2017). An intra-cloud networking performance evaluation on cloudstack environment. In *2017 25th Euromicro International Conference on Parallel, Distributed and Network-based Processing (PDP)*, pages 468–472. IEEE.
- [Wan et al. 2012] Wan, Y., Feng, D., Wang, F., Ming, L., and Xie, Y. (2012). An in-depth analysis of tcp and rdma performance on modern server platform. In *2012 IEEE Seventh International Conference on Networking, Architecture, and Storage*, pages 164–171. IEEE.