

Uma Análise Comparativa entre Clusters Computacionais a partir de Máquinas Velhas e Computadores i5 da Quarta Geração

Leonardo S. Mendes¹, Jhonatas Machado¹, Eduardo Ferreira¹, Victor Machado¹,
Carla Castanho¹, Eduardo Spies¹

¹Departamento de Engenharias e Ciência da Computação – Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões (URI) – Câmpus Santiago
Caixa Postal 97700-000 – Santiago – RS – Brasil

lsm.ccomp@gmail.com, jhonatasrm@gmail.com, {eduardo.ferreira, victor.alves, carla.castanho, eduardo.spies}@urisantiago.br

Abstract. *This article makes a comparative analysis between a computational cluster from old machines and a fourth-generation i5 computer. Both are tested by the NAS Parallel Benchmark (NPB) benchmark, and through the results obtained, the difference between the two machines is shown by graphs and tables. In the results, the cluster consisting of 7 machines had its standard diversion calculated from an average of five tests and compared to the standard diversion generated by the i5 computer, also from an average of five tests.*

Resumo. *Este artigo faz uma análise comparativa entre um cluster computacional a partir de máquinas antigas e um computador i5 da quarta geração. Ambos são testados pelo benchmark NAS Parallel Benchmark (NPB), e através dos resultados obtidos, evidencia-se a diferença entre as duas máquinas por meio de gráficos e tabelas. Nos resultados, o cluster formado por 7 máquinas, teve seu desvio padrão calculado a partir de uma média de cinco testes e comparados com o desvio padrão gerado pelo computador i5, também a partir de uma média de cinco testes.*

1. Introdução

Com o passar dos anos, muitas formas de paralelismo foram sendo desenvolvidas, bem como pipeline, arranjo de processadores e multiprocessadores, permitindo assim a computação distribuída. Dentre os multiprocessadores, estão os *clusters* computacionais, uma iniciativa que vem sendo utilizada em muitas universidades por proporcionar um maior estudo na área de computação distribuída e ampliar o incentivo a pesquisas e análise de dados.

Nesse mesmo cenário, vê-se a utilização de *clusters* em pequenas e médias empresas que mantém grandes servidores e buscam maior poder de processamento. Uma forma de manter uma relação de custo x benefício se comparado aos supercomputadores que custam altos preços.

Contudo, essa relação custo x benefício não acontece de forma tão eficaz nas universidades assim como nessas empresas. Sua construção se dá, em muitas vezes, através de lixo eletrônico destinado ao descarte, e por ser baseado em máquinas antigas,

sua capacidade de processamento não é alta o suficiente para se equiparar aos computadores modernos.

Diante disso, aproveitando o *cluster* computacional baseado no modelo *Beowulf* que foi desenvolvido a partir de máquinas antigas, foi possível realizar uma análise de comparação entre o *cluster* e um dos computadores do laboratório, que conta com um processador i5 da quarta geração, medindo a performance de cada um quanto a distribuição de tarefas.

Na seção 2, 3 e 4 é mostrado uma descrição dos conceitos e características dos computadores utilizados, bem como do *benchmark* utilizado para a realização dos testes. Na seção 5 é relatado algumas características e os procedimentos utilizados para obtenção dos resultados. A seção 6 apresenta os resultados obtidos em cada máquina e a comparação entre as mesmas, na seção 7 é abordado alguns trabalhos relacionados e na seção 8 fecha o assunto declarando um posicionamento acerca da comparação e o melhor uso das máquinas.

2. Cluster Computacional

Um sistema distribuído (SD) pode ser entendido com um conjunto de computadores independentes que se apresenta como um sistema único e coerente (ALVES FILHO, 2017 apud TANENBAUM & STENN, 2007). Nessa mesma linha, *cluster* é o nome dado a um sistema distribuído que relaciona dois ou mais computadores para que estes trabalhem de maneira conjunta no intuito de processar uma determinada tarefa (ALECRIM, 2013).

Clusters agem de forma transparente e operam como se houvesse apenas um processador, seus nós são interligados por uma rede Ethernet capaz de transferir informações e controlar o transporte de dados. No seu desenvolvimento há requisitos a serem cumpridos, ele precisa ter mais de dois nós (*back-end*), sendo que precisa ter ao menos um nó mestre (*front-end*) (BACELLAR, 2010).

O seu modelo *Beowulf* foi idealizado pelos pesquisadores da NASA, Thomas Sterling e Donald J. Becker (BACELLAR, 2010) na década de 90, ao construírem o *Cluster Beowulf*. Tem seu foco no ganho de processamento, podendo ser classificado como um *cluster* de alto desempenho (HPC) em inglês.

O *cluster* é testado pelo *benchmark NAS Parallel Benchmark* (NPB). O NPB é um conjunto de *benchmarks* derivados da dinâmica de fluídos computacional (CFD) disponibilizados pela *National Aeronautics and Space Administration* (NASA). Atualmente está sendo usado a classe de teste B do *benchmark*, realizando problemas de teste padrão.

3. NAS Parallel Benchmark (NPB)

Desenvolvido originalmente pela divisão de Supercomputação Avançada da NASA, esse conjunto de *benchmarks* foi desenvolvido para auxiliar na avaliação de computadores altamente paralelos (BAILEY, BARSZCZ et al. 1991, tradução nossa). Se divide nas seguintes classes:

- Classe S: pequeno para fins de teste rápido;

- Classe W: tamanho da estação de trabalho;
- Classe A, B, C: problemas de teste padrão, quatro vezes é o aumento de tamanho de uma classe para a próxima;
- Classe D, E, F: grandes problemas de teste, dezesseis vezes é o aumento de tamanho de uma classe para a próxima.

Após o processo de configuração das máquinas, os testes efetuados no *cluster* e no computador i5 foram com base na classe B. O NPB consiste também de 5 *kernels* e 3 pseudo-aplicações, sendo algumas delas:

Dentre os *kernels*:

- **EP – *Embarrassingly Parallel*:** Gera pares de desvios gaussianos aleatórios de acordo com um esquema específico. O objetivo é estabelecer o ponto de referência para o pico desempenho de uma determinada plataforma (JIN, et al. 1999, tradução nossa).

As pseudo-aplicações:

- **BT – *Block Tri-diagonal solver*:** É um simulador de aplicação CFD que usa um algoritmo implícito para resolver equações 3-D de Navier Stokes. A solução das diferenças finitas para o problema é com base em uma fatoração aproximada Implícita com Direção Alternada (ADI) em inglês, que separa as dimensões x, y e z. Sistemas de bloco-tridiagonal são resolvidos sequencialmente em cada dimensão (JIN, et al. 1999, tradução nossa).
- **SP – *Scalar Penta-diagonal*:** Estrutura semelhante ao BT, baseia-se em Beam-Warming que separa as dimensões x, y e z. Sistema possui bandas pentadiagonal escalares de equações lineares que são resolvidas sequencialmente ao longo de cada dimensão (JIN, et al. 1999, tradução nossa).
- **LU – *Lower-Upper Gauss Seidal solver*:** É um simulador de aplicação CFD que usa SSOR (*Symmetric Successive Over-Relaxation*) na resolução de um sistema resultante da diferença finita da discretização de equações 3-D Navier-Stokes, dividindo-o em bloco triangular inferior e superior (JIN, et al. 1999, tradução nossa).

4. Processador i5 da Quarta Geração

São processadores intermediários, capazes de realizar maior número de tarefas ao mesmo tempo. Podem ser compostos com *Hyper-Threading*. A tecnologia *Hyper-Threading* faz um único processador físico parecer ser vários processadores lógicos (KOUFATY, 2003, tradução nossa). Isso permite que processadores multicore tenham acesso a um recurso de agendamento de tarefas muito mais inteligente.

Com base nisso, foi usado uma das máquinas do laboratório de informática da universidade para realizar os testes de *benchmark* e fazer a comparação com o *cluster* computacional. Essa máquina conta com um processador Intel® Core™ i5-4440 com as seguintes especificações:

Tabela 1. Especificações do computador sendo usado

	Nº Núcleos	Nº Threads	Frequência	RAM	HD	Hyper-Threading
Especificações	4	4	3.10 GHz	8 GB	512 GB	Não

Pode ser visto de acordo com a Tabela 1 que a máquina do laboratório a estar sendo utilizada não possui *Hyper-Threading*, o que ocasionalmente leva a uma diminuição de desempenho quanto a distribuição de tarefas.

5. Metodologia

Levando em conta o atual *cluster* sendo desenvolvido na universidade, foi possível realizar uma comparabilidade entre o *cluster* e uma máquina mais recente que se encontrasse disponível em um dos laboratórios da universidade. Para isso, foi usado um i5 da quarta geração, com processador rápido, para que pudesse dar um bom resultado na comparação. Uma forma de verificar se mesmo o *cluster* mantendo um bom custo x benefício, poderia gerar resultados próximos ao das novas gerações.

Esse *cluster* conta com sete computadores funcionais e um switch. Estes sete computadores estão divididos entre 4 computadores com processadores Intel Pentium 4 e 3 com processador Celeron, todos com sistema operacional Debian Stretch GNU/Linux 9.5 com kernel 4.9. Para comunicação entre as máquinas foi usado a biblioteca MPI (*Message Passing Interface*), que é um padrão para comunicação paralela de dados.

Além de se dividir em seis nós escravos e um nó controlador, foi projetado para ser um *cluster* de alto desempenho, sendo destinado a aplicações de maior exigência no que diz respeito ao processamento. São usados para analisar grandes quantidades de dados rapidamente, como também para realizar cálculos bastante complexos. Seu foco é fornecer resultados precisos em tempo mais hábil possível (PEREIRA, 2016 apud ALECRIM, 2013).

A obtenção dos resultados foi a partir da realização de testes do *benchmark* NPB no *cluster*, que já estava configurado, calculando o desvio padrão gerado pelas máquinas. Quanto ao computador do laboratório de informática, foi preciso configurá-lo para rodar o *benchmark*, implementar o algoritmo básico de loop dos cinco testes, eliminando o trabalho manual, e colocar para rodar, ao final de cada aplicação, calcular o desvio padrão gerado em MFlops.

6. Resultados e Discussões

A medida que a tecnologia evolui e novos processadores vão sendo lançados, aqueles que um dia estavam no topo da geração vão saindo de linha. Isso significa que seus processadores já não são suficientes para realizar as inúmeras tarefas demandadas pelo usuário e/ou pelo sistema.

Contudo, essa constatação só fica evidente ao realizarmos uma comparação entre um *cluster* computacional, que possui alto poder de processamento, ainda que de máquinas antigas, e uma máquina da geração mais recente.

Ao interligar os seis nós escravos ao nó controlador, se tornou possível fazer a distribuição de tarefas. Tarefas estas que serão usadas como forma de medir o desempenho computacional gerado pelo *cluster* através de um algoritmo básico de loop aplicado sobre as quatro aplicações: BT, EP, SP, LU.

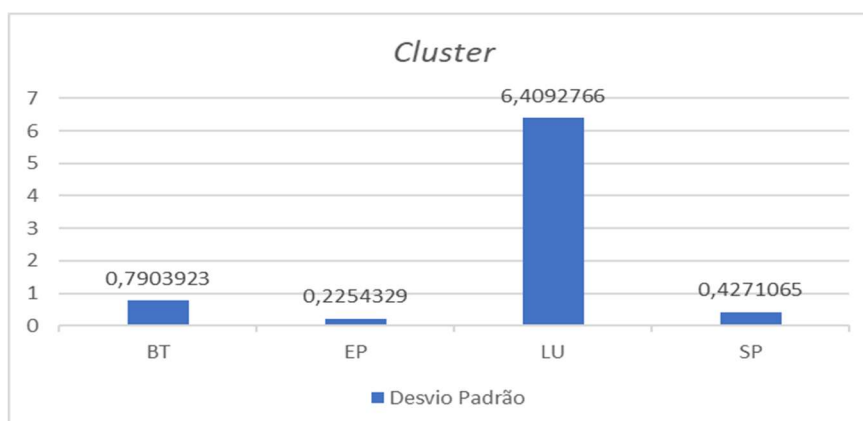
Executando cinco testes da classe B do *benchmark* NAS para supor todas as possíveis variações, foi possível obter a média e o desvio padrão com os seguintes resultados:

Tabela 2. Média e desvio padrão do Benchmark no Cluster

Benchmark	Média (5 testes)	Desvio Padrão
BT	934,858 MFlops	0,7903923 MFlops
EP	27,8488 MFlops	0,2254329 MFlops
LU	1085,1184 MFlops	6,4092766 MFlops
SP	306,2528 MFlops	0,4271065 MFlops

Analisando o Gráfico 1, pode-se ver no desvio padrão sua variação, e como o LU se destaca dentre as demais aplicações do *benchmark*.

Gráfico 1. Desvio Padrão do Benchmark no Cluster

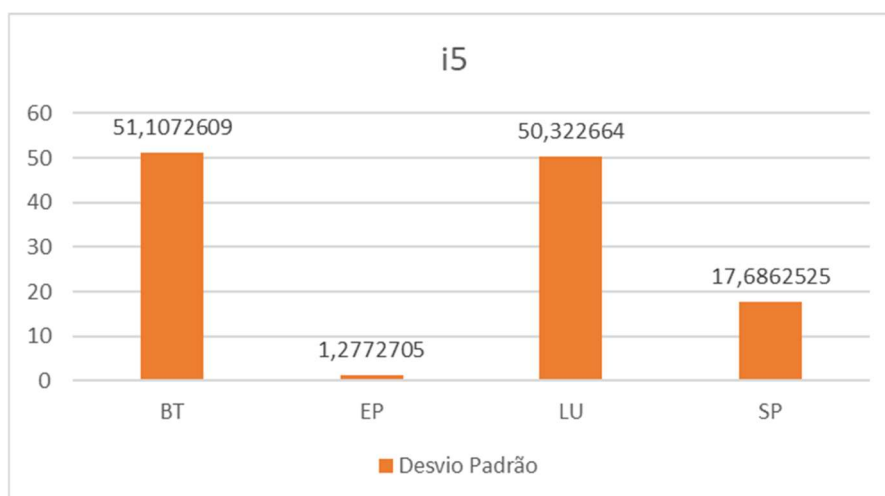


Agora, utilizando basicamente o mesmo algoritmo de loop usado no *cluster*, em um dos computadores do laboratório de informática, foi possível obter os seguintes resultados de média e desvio padrão:

Tabela 3. Média e desvio padrão do Benchmark em um computador i5 da Quarta Geração

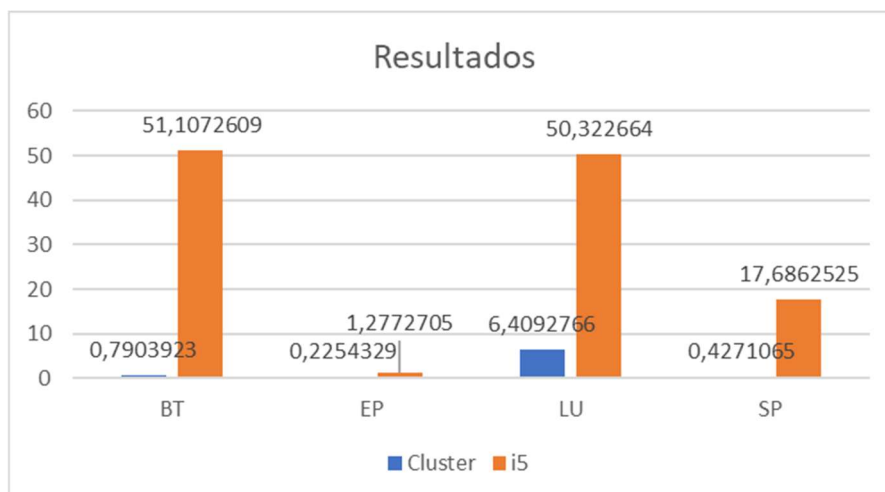
Benchmark	Média (5 testes)	Desvio Padrão
BT	3352,72 MFlops	51,1072609 MFlops
EP	170,678 MFlops	1,2772705 MFlops
LU	3899,438 MFlops	50,3226640 MFlops
SP	1495,126 MFlops	17,6862525 MFlops

Gráfico 2. Desvio padrão do Benchmark em um computador i5 da Quarta Geração



Analisando os valores de desvio padrão mostrados na Tabela 2 e na Tabela 3, podemos ver uma diferença significativa em seus números. BT que antes havia obtido resultados bem baixos no *cluster*, teve um grande aumento de performance agora no i5, por outro lado, LU que havia obtido um resultado bem acima da média anteriormente, agora subiu ainda mais, mostrando um melhor desempenho no i5. Entretanto, vamos juntar o Gráfico 1 e o Gráfico 2 para analisar.

Gráfico 3. Comparação dos resultados do desvio padrão



O Gráfico 3 mostra uma comparação entre o *cluster* computacional e o computador i5, onde pode-se observar, como havia sido dito, um elevado aumento nos resultados gerados pelo *benchmark* para o computador i5. Apesar de EP não possuir uma variação tão elevada, BT, SP e LU se mostraram com o maior diferencial.

Isso se deve ao fato de que, de acordo com Saphir (et al. 1996, tradução nossa), estas pseudo-aplicações requerem dois ou mais processadores, ou até mesmo exatos números quadrados de processadores, resultando nesse alto diferencial.

Aproximadamente, o *cluster* teve um desempenho de 6,52% do total do computador i5, o que equivale dizer que o i5 teve um desempenho aproximado de 93,48% de melhoria sobre o *cluster*. Quanto a BT, SP, e LU, essa diferença se deu em 6,40% para o *cluster* do total do i5 nas três pseudo-aplicações, equivalendo a 93,60% para o i5 em termos de melhoria, mostrando também que quanto maior o nível da geração, melhores podem ser os resultados

7. Trabalhos Relacionados

Em um artigo de Avelada (2003), foi projetado a implementação de um cluster de baixo custo, consistindo de oito nós de processamento, todos com CPU de 1 GHz e sistema operacional RedHat Linux, os resultados se assemelharam bastante. Para medição de desempenho foi usado o benchmark NPB, usando dentre uma das classes de teste em questão, a B. Os resultados obtidos constataram um diferencial elevado de BT, SP, e LU em cima de EP, mas ainda sim, com um baixo poder de processamento se comparado até mesmo com o desempenho do cluster desenvolvido na universidade.

Já Brandão (et al. 2018), ao formar um cluster de computadores com processadores i7 da terceira e quarta geração, consistindo de apenas três máquinas, executa a classe C do NPB com a pseudo-aplicação LU para medir o tempo baseado no número de núcleos sendo utilizados. Como resultado, o pior teste se deu com a execução de apenas 1 núcleo, quando comparado as execuções de 12 e 24 núcleos, que obtiveram um melhor tempo.

A partir dessa relação, quando comparada com os resultados obtidos neste artigo, fica de forma clara a constatação que processadores antigos, ainda que interligados, não oferecem o mesmo poder de processamento que computadores mais recentes. Contudo, não apenas isso, o número de núcleos de um computador influência consideravelmente, afinal, tanto no cluster implementado na universidade, quanto nos testes realizados por Brandão (2018), os resultados obtidos por processadores de apenas 1 núcleo se mostraram todos com um baixo poder de processamento.

8. Conclusão

Clusters são uma tecnologia consolidada e que se fazem presentes até hoje devido a sua capacidade de distribuição de tarefas. Oferecem grande poder de processamento por um baixo custo, tornando-se uma boa alternativa se comparados aos supercomputadores.

Contudo, uma análise nas máquinas a estarem sendo usadas para sua implementação se fazem necessário, pois com processadores antigos, ainda que interligados, e oferecendo um grande aumento de performance, não se equiparam a computadores mais recentes, que já possuem de fábrica um alto poder de processamento.

Como pôde ser visto nos resultados obtidos pelo *benchmark* tanto do *cluster* quanto do computador i5, houve uma grande diferença no desempenho realizado pelos dois, além disso, o tempo de execução do i5 foi ligeiramente maior, ultrapassando o *cluster* de forma bastante significativa.

Nos resultados, as três pseudo-aplicações se mostraram com o maior diferencial, mostrando-se com uma melhoria de 93,60% do i5 sobre o cluster.

Tendo em visto isso, embora o custo x benefício possa ser bom para as universidades e pequenas empresas, uma implementação com máquinas não muito antigas teria um desempenho melhor, e acarretaria em uma melhor utilização, oferecendo maiores opções de algoritmos a serem executados. Mas ainda que não descartando sua atual implementação, pode ser considerado um bom material de estudo, pois oferece diversas pesquisas e comparações para o meio acadêmico.

Referências

- Alecrim, E. (2013) “Cluster: conceito e características”, <https://www.infowester.com/cluster.php>, Junho.
- Alves Filho, S. (2017) “Arquitetura de um cluster computacional se baixo consumo e com proporcionalidade energética”, https://www.google.com/url?sa=t&source=web&rct=j&url=https://repositorio.ufrn.br/jspui/bitstream/123456789/24935/1/SebastiaoEmidioAlvesFilho_TESE.pdf&ved=2ahUKEwikmPGvi5rjAhW1K7kGHfeqCmsQFjAAegQIAxAB&usg=AOvVaw2pD70ynRfdSwngUMtiBXc5, Junho.
- Avelada, A. A. (2003) “Utilização de Sistemas de Alto Desempenho no Processamento de Sinais na Análise de Problemas de Vibrações Induzidas por Desprendimento de Vórtices em Estruturas Offshore”, <http://www.coc.ufrj.br/pt/documents2/doutorado/2003-2/747-albino-dos-anjos-aveleda-doutorado/file>, Julho.
- Bacellar, H. Viana. (2010) “Cluster: Computação de Alto Desempenho”, <http://www.ic.unicamp.br/~ducatte/mo401/1s2010/T2/107077-t2.pdf>, Junho.
- B, E. Barszcz, J. T. Barton, D. S. Browning, R. L. Carter, L. Dagum, R. A. Fatoohi, P. O. Frederickson, T. A. Lasinski, R. S. Schreiber, H. D. Simon, V. Venkatakrisnan, and S. K. Weeratunga, “The NAS Parallel Benchmarks,” Intl. Journal of Supercomputer Applications, v. 5, no. 3 (1991).
- Brandão, L. B. et al. (2018) “Implementação de um Cluster Beowulf utilizando o framework Warewulf”, Anais do 9º EATI, p. 22-29.
- Jin, H. et al. (1999) “The OpenMP Implementation of NAS Parallel Benchmarks and Its Performance”, <https://www.nas.nasa.gov/assets/pdf/techreports/1999/nas-99-011.pdf>, Julho.
- Koufaty, D. Marr, D. T. (2003) “HYPERTHREADING TECHNOLOGY IN THE NETBURST MICROARCHITECTURE”, https://pdfs.semanticscholar.org/cbf6/d9ca16e1033942a9ed4dec6b5aa73ecfab01.pdf?_ga=2.174410658.1668213768.1560518916-525741980.1560518916, Junho.
- Pereira, V. Pacheco. (2016) “Instalação e Configuração de um Cluster Beowulf”, <http://hdl.handle.net/10314/3697>, Junho.
- Saphir, W. et al. (1996) “The NAS Parallel Benchmarks 2.1 Results”, <https://www.nas.nasa.gov/assets/pdf/techreports/1996/nas-96-010.pdf>, Julho.