

01 a 04 de outubro de 2018

Evento: XXIII Jornada de Pesquisa

**ANÁLISE DE DESEMPENHO APLICANDO DVFS EM OPERAÇÕES DE E/S
UTILIZANDO AMBIENTES EQUIPADOS COM DISPOSITIVOS DE
ARMAZENAMENTO HDD E SSD¹
PERFORMANCE ANALYSIS APPLYING DVFS IN I/O OPERATIONS USING
ENVIRONMENTS EQUIPPED WITH HDD AND SSD STORAGE DEVICES**

**Cleber Cristiano Sartorio², Pablo Jose Pavan³, Giovane Da Rosa Lizot⁴,
Vinicius Ribas Samuel Dos Santos⁵, Edson Luiz Padoin⁶**

¹ Monografia de Conclusão do Curso de Graduação em Ciência da Computação

² Egresso do curso de Graduação em Ciência da Computação e Técnico-Administrativo e de Apoio da Unijuí

³ Aluno de Mestrando em Computação pela UFRGS

⁴ Aluno do Curso de Ciência da Computação e bolsista Pibic/Cnpq

⁵ Aluno do Curso de Ciência da Computação e bolsista Pibic/Cnpq

⁶ Professor e Coordenador do Curso de Ciência da Computação da Unijuí

Resumo

O presente trabalho aborda o grande desafio discutido na Computação de Alto Desempenho que é encontrar soluções que aumentem a eficiência energética dos sistemas computacionais. Através de um estudo prático, o objetivo deste trabalho busca analisar a viabilidade de variação da frequência e voltagem do processador, bem como a utilização de dispositivos de armazenamento SSD na Computação de Alto Desempenho, como alternativa para contornar o problema. Serão realizadas comparações de desempenho, potência, consumo e eficiência energética dos principais componentes envolvidos nos sistemas de IO com o benchmark FIO com o objetivo de coletar informações de operações de E/S. Os resultados dos testes realizados nos dispositivos não apresentaram grandes diferenças com relação à variação de frequência do processador. No entanto, percebeu-se o quão eficientes ambos os componentes podem ser, no caso do SSD, que apresentou ser 37,56 vezes mais eficiente que o HDD em operações de leitura e 14,17 vezes em operações de escrita.

Abstract

The present work addresses the great challenge discussed in High Performance Computing that is to find solutions that increase the energy efficiency of the computational systems. Through a practical study, the objective of this work is to analyze the feasibility of variation of the frequency and voltage of the processor, as well as the use of SSD storage devices in High Performance Computing, as an alternative to get around the problem. Performance, power, consumption and energy efficiency comparisons of the main components involved in the IO systems with the FIO benchmark will be performed in order to collect IO information. The results of the tests performed on the devices did not show any major differences in relation to the frequency variation of the processor. However, it was noticed how efficient both components may be, in the case of SSD, which was 37.56 times more efficient than the HDD in read operations and 14.17 times in writing

01 a 04 de outubro de 2018

Evento: XXIII Jornada de Pesquisa

operations

Palavras-chave: Computação de Alto Desempenho, Eficiência Energética, E/S, HDD, SSD.

Keywords: High Performance Computing, Power Efficiency, I/O, HDD, SSD.

1 INTRODUÇÃO

Desenvolvimento tecnológico e inovação são temas que possuem grande repercussão nos dias atuais. Embora esses assuntos tenham adquirido grande destaque nos últimos tempos, podemos salientar que suas origens vêm desde a Revolução Industrial, e que sempre estiveram muito ligados com o crescimento e necessidades da indústria no contexto geral.

O setor de Tecnologia da Informação (TI) foi um ramo que se desenvolveu conseqüentemente devido ao aumento de processos envolvendo recursos de informática, resultado do crescimento desordenado de pequenas, médias e grandes empresas. Com isso, em virtude do aumento significativo do volume de dados a serem processados, para realizar o gerenciamento dessas informações, surgiu a necessidade de computadores com poder de processamento cada vez mais avançados.

Dentro desse contexto, inúmeras aplicações foram reescritas e passaram a ser executadas em arquiteturas para computação de alto desempenho - High Performance Computing (HPC) -. Tais aplicações geralmente lidam com grande volumes de dados e demandam de elevados tempos de processamento para alcançar resultados precisos (MAIR et al., 2015).

Em virtude dessas necessidades, o consumo de energia tornou-se uma das principais preocupações para a concepção de sistemas exascale (10¹⁸ - Quintilhão de operações de ponto flutuante por segundo). Para buscar solução a esta situação, pesquisadores precisam encontrar alternativas para reduzir o consumo de energia, sem reduzir a velocidade de processamento (PADOIN et al., 2014). Nesse sentido, um relatório do DARPA sugere que futuros sistemas de HPC- dos quais se espera exaflops de desempenho - não ultrapassem um limite de 20 MW de demanda de potência (BERGMAN et al., 2008).

Conforme (DOMENICO; LIMA; MARIA-RS-BRASIL, 2016), encontrar soluções que aumentem a eficiência energética dos sistemas computacionais corresponde a um dos principais desafios para os pesquisadores e para a comunidade da Computação de Alto Desempenho. A meta é alcançar um nível de eficiência energética de 50 GFLOPS/Watt, que é o nível de eficiência energética definido por especialistas como aceitável para supercomputadores.

Procurando respeitar tais limites, foram aplicadas estratégias de gerenciamento dinâmico de potência. Uma dessas estratégias consiste na utilização de técnicas de gerenciamento de energia das unidades de processamento, conhecida como DVFS (Dynamic Voltage and Frequency Scaling). Esta técnica visa a alteração da frequência e voltagem do processador, pois a escala adequada da frequência e da voltagem pode reduzir o consumo de energia das máquinas.

Entretanto, embora as unidades de processamento sejam as maiores responsáveis pelo consumo energético dos sistemas HPC, operações de entrada e saída (E/S) representam boa parte deste consumo energético também. Buscando reduzir este consumo, outras pesquisas adotam dispositivos SSD (Solid State Drive) para utilizar como armazenamento em sistemas HPC, devido

01 a 04 de outubro de 2018

Evento: XXIII Jornada de Pesquisa

ao fato de possuírem desempenho superior aos discos rígidos e apresentarem menores tempo de acessos sequenciais e aleatórios (WELCH; NOER, 2013).

Deste modo, unindo os conceitos dos autores, e através de um estudo prático, o objetivo deste trabalho consiste em analisar a viabilidade da alteração da frequência de clock do processador, bem como a utilização de dispositivos de armazenamento SSD na computação de alto desempenho, como alternativa para a redução do consumo energético para sistemas HPC. Esta avaliação envolve realizar um comparativo de desempenho, demanda de potência e eficiência energética entre as diferentes frequências de funcionamento da unidade de processamento através de operações de E/S, utilizando dispositivos de armazenamento HDD e SSD.

2 METODOLOGIA

2.1 Metodologia dos Testes

Considerando que as unidades de processamento são as maiores responsáveis pelo consumo de energia dos sistemas HPC, pesquisas buscam alternativas para reduzir este consumo. Com esta premissa, a partir deste estudo, buscou-se trabalhar efetuando alterações a partir da frequência do clock da unidade de processamento através do uso da técnica de gerenciamento de energia DVFS.

Entretanto, devido ao fato das unidades de processamento não serem as únicas responsáveis pelo consumo energético dos sistemas HPC, pois as operações de E/S representam boa parte deste consumo, adotou-se dispositivos de armazenamento HDD e SSD a fim de avaliar a viabilidade de utilização de tais dispositivos apresentando um comparativo de eficiência energética com relação a variação da frequência da unidade de processamento.

O primeiro passo para a implementação deste estudo, foi definir os parâmetros para as operações a serem realizadas, como o tamanho das requisições, a utilização ou não de cache, o número de repetições de cada teste (para serem analisados posteriormente através da média aritmética dos valores), o tamanho do arquivo a ser atribuído às operações de escrita e leitura, como também um tempo máximo para cada teste.

Para isso foi utilizado um script na linguagem Python, onde foi especificado para a realização dos testes, requisições de 4MB, sem a utilização de cache para não haver inconsistências nos resultados, através de 10 repetições para cada operação de escrita e leitura sequencial de um arquivo com o tamanho de 5GB e um tempo máximo de 60 segundos para cada operação.

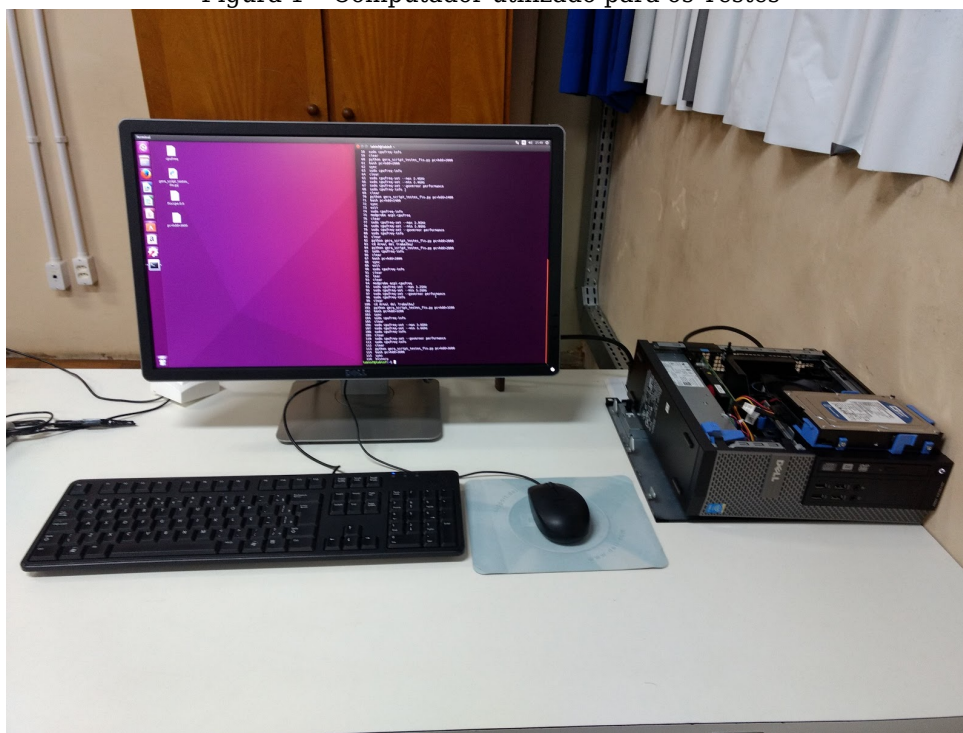
2.2 Ambiente de testes

O ambiente de execução dos testes foi composto por um computador da marca DELL modelo OPTIPLEX 7020 conforme a Figura 1, que possui em sua configuração um processador Intel Core i7-4790 com frequência de clock mínima de 800 MHz e máxima de 4.0 GHz. Esse processador possui cache L2 de 256 KB e memórias cache L1 de instruções de 32 KB e memórias cache L1 de dados de 32 KB. O equipamento possui 16 GB de RAM com frequência de 1600 MHz, conforme pode ser observado através da Tabela 1.

01 a 04 de outubro de 2018

Evento: XXIII Jornada de Pesquisa

Figura 1 - Computador utilizado para os Testes



Fonte: O Autor

Tabela 1 - Computador de Testes

| | |
|----------------------------|--------------------|
| Processador | Intel Core i7-4790 |
| Microarquitetura | Haswell |
| Modelo do Processador | i7-4790 |
| Técnica de Fabricação (nm) | 22 |
| Frequência de Clock | 0,8 - 4,0 GHz |
| Cores/Processadores (#) | 4 |
| Cache L1/Core (KB) | 4 x 32 |
| Cache L2/Core (KB) | 4 x 256 |
| Cache L3/Core (MB) | 8 |
| Memória (GB) | 16 DDR3 |

Fonte: O Autor

Além deste equipamento, foram utilizados dois dispositivos de armazenamento de dados. Um modelo SSD da marca Samsung com capacidade de armazenamento de 256 GB, com 8 tensão de 5V e corrente de 0,50 A. O outro dispositivo de armazenamento consiste em um HDD da marca

01 a 04 de outubro de 2018

Evento: XXIII Jornada de Pesquisa

Western Digital com capacidade de armazenamento de 250 GB, velocidade de 7200 RPM, com tensão de 5 V e corrente de 0.65 A conforme pode ser observado na Tabela 2, e na Figura 2.

Tabela 2 - Dispositivos de Armazenamento Utilizados nos Testes

| Tipo | Fabricante | Capacidade (GB) | RPM | Especificações do Fabricante Tensão (VDC) - Corrente (A) |
|------|-----------------|-----------------|------|---|
| HDD | Western Digital | 250 | 7200 | 5 0,65 |
| SSD | Samsung | 256 | - | - 5 0,50 |

Fonte: O Autor

Figura 2 - Dispositivos de armazenamento utilizados nos testes

(a) SSD

(b) HDD



Fonte: O Autor

Os testes foram realizados em um ambiente Linux, com Sistema Operacional Ubuntu versão 16.04.1 LTS com kernel 4.10.0-40-generic. Para utilizar a técnica de DVFS foi instalado a biblioteca cpufrequtils. Também foi necessário instalar o pacote Python para ser possível executar o script de testes. Além disso, para realizar os testes de E/S foi instalado o benchmark FIO, e posteriormente executado cada bateria de testes com os diferentes dispositivos de armazenamento e diferentes frequências do processador.

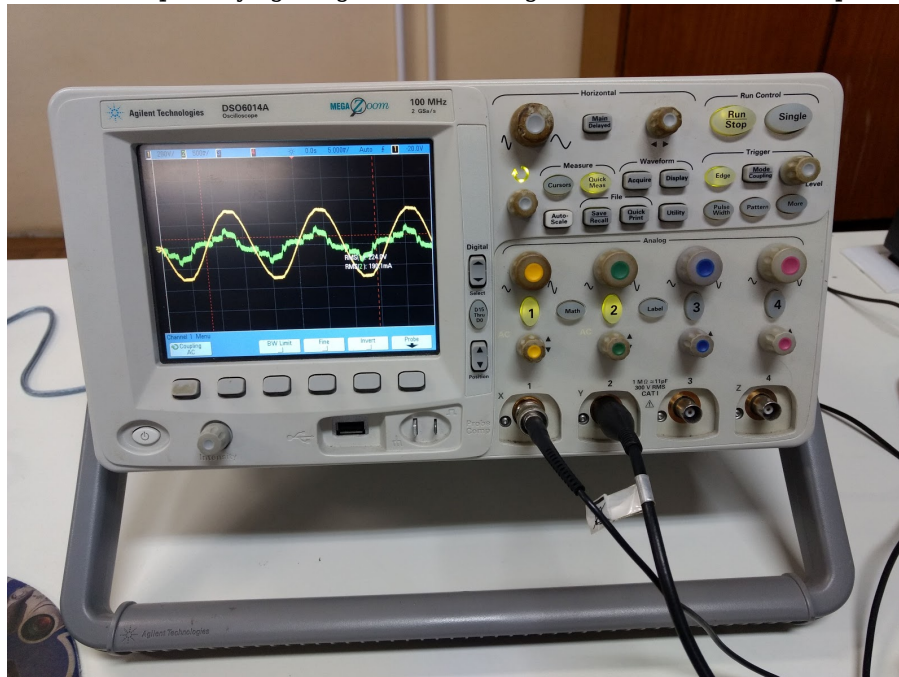
Para realizar a análise de energia consumida pelo computador durante os testes, foram utilizados mais quatro equipamentos. Um osciloscópio da marca Keysight Agilent Technologies, modelo DSO6014A InfiniVision 100 MHz, conforme pode ser observado através da Figura 3, conectado a uma ponteira Agilent modelo 1146A, utilizada para medir a corrente (amperagem), e uma ponteira Tectronix modelo P5200, utilizada para medir a tensão (voltagem), conforme a Figura 4. Além disso, foi utilizado um notebook com Sistema Operacional Windows 7 Ultimate para gravar as informações capturadas pelo osciloscópio através de uma conexão USB e pelo software Keysight

01 a 04 de outubro de 2018

Evento: XXIII Jornada de Pesquisa

BenchVue versão 3.7, conforme as figuras 5 e 6.

Figura 3 - Osciloscópio Keysight Agilent Technologies DSO6014A utilizado para os testes



Fonte: O Autor

Figura 4 - Ponteira Agilent 1146A utilizada para mensurar a corrente alternada e ponteira Tectronix P5200 utilizada para mensurar a tensão

(a) Corrente Alternada



(b) Tensão



Fonte: O Autor

01 a 04 de outubro de 2018

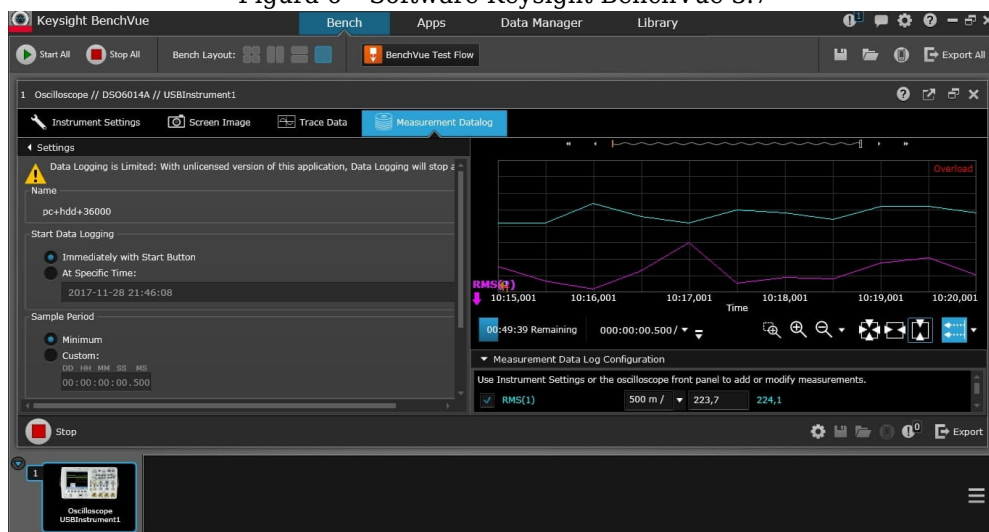
Evento: XXIII Jornada de Pesquisa

Figura 5 - Notebook utilizado para executar o software Keysight BenchVue 3.7



Fonte: O Autor

Figura 6 - Software Keysight BenchVue 3.7



01 a 04 de outubro de 2018

Evento: XXIII Jornada de Pesquisa

Fonte: O Autor

Para realizar a mensuração de energia utilizada durante a execução dos testes, foi adotado o seguinte procedimento:

- Carregado o pacote `cpufreq` através do comando;
- Verificado qual a configuração definida;
- Setado o valor máximo de frequência;
- Setado o valor mínimo de frequência;
- Setado o governador modo `performance`;
- Verificado novamente se as configurações definidas estão de acordo com o desejado;
- Executado através do Python o script com as configurações, passando como parâmetro um nome para identificá-lo;

Este último procedimento gera um arquivo shell script, que ao ser executado através do benchmark, realiza todos os padrões de testes definidos.

No entanto, em torno de 90 segundos antes de executar o arquivo gerado, inicializava a gravação dos registros através do software Keysight BenchVue. Em seguida executava-se os testes e ao terminar a bateria de execuções, aguardava-se em torno de 90 segundos para encerrar a gravação através do Keysight BenchVue. Esse intervalo de tempo antes e após executar cada bateria de testes foi definido para que a tensão e a corrente gravados pelo software estivessem estabilizados e não influenciassem nos resultados posteriormente. Em cada bateria de testes, o benchmark gerou 21 arquivos. Um arquivo de log, e um arquivo de registro para cada repetição de cada operação de leitura e escrita. O software Keysight BenchVue gerou um arquivo salvo no formato .CSV contendo as informações dos registros de corrente e tensão.

Após serem realizadas todas as baterias de testes, em ambos os dispositivos de armazenamento, variando a frequência do processador de 800 MHz até 3.6 GHz, com intervalos de 400 MHz, obteve-se os arquivos de registros e informações para se extrair os dados pertinentes ao intuito da pesquisa. Para extrair esses dados e organizá-los de forma a facilitar a maneira de posteriormente se realizar os cálculos, foi utilizados outros dois scripts em Python. O primeiro script para capturar todos arquivos com formato .out gerados pelo benchmark, e inserir as informações no formato de planilha em um arquivo .CSV. O segundo script para capturar as informações de medições de energia do arquivo .CSV gerado pelo software Keysight BenchVue, e informações do arquivo de log gerado pelo benchmark, organizando esses dados por teste no formato de planilha em um arquivo .CSV.

Com os dados organizados em planilhas, foi extraído os valores de média aritmética das repetições de testes, frisando os fatores energia consumida, potência, banda e tempo. Essas informações foram organizadas por frequência, dispositivo de armazenamento e operação de Escrita e Leitura para a geração dos gráficos a fim de comparar os resultados.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Análise de Desempenho X DVFS

01 a 04 de outubro de 2018

Evento: XXIII Jornada de Pesquisa

A Figura 7 (a) apresenta os resultados de desempenho dos testes de escrita nos dispositivos de armazenamento HDD e SSD. O gráfico demonstra desempenho superior do SSD com relação ao HDD. No entanto, o desempenho de ambos os dispositivos se manteve estável conforme a variação do DVFS, não apresentando ganhos e nem perdas para operações de escrita.

Figura 7 - Desempenho Obtido Durante os Testes



Fonte: O Autor

A Figura 7 (b) apresenta os resultados de desempenho dos testes de leitura. Diferentemente do desempenho de escrita, apesar do SSD continuar apresentando um desempenho muito superior ao desempenho do HDD, é possível perceber através do gráfico que, conforme é aumentado a frequência do processador, obtém-se um leve ganho de desempenho no SSD, enquanto o HDD se mantém estável.

O desempenho mensurado para operações de escrita no SSD foi em média 3,73 vezes maior que o HDD. Com HDD teve-se uma taxa de transferência em média de 78,7 MB/s, enquanto que com SSD alcançou-se 293,3 MB/s.

Já para operações de leitura, foi em média 5,98 vezes maior quando utilizando disco SSD se comparado com HDD. Com HDD teve-se uma taxa de transferência em média de 86,8 MB/s, enquanto que com SSD alcançou-se 519,3 MB/s.

Logo, percebe-se que para ambas as operações, é possível visualizar que o SSD apresenta resultados melhores que o HDD. No entanto, com relação às alterações de frequência do processador, resultaram apenas em um ganho pequeno de desempenho para o SSD em operações de leitura.

3.2 Análise da Demanda de Potência X DVFS

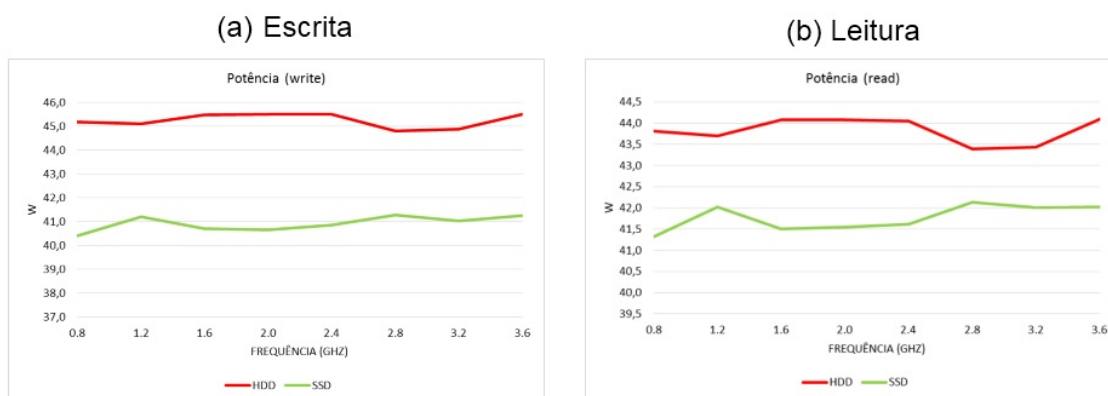
As Figuras 8 (a) e (b) correspondem a demanda de potência mensurada para as operações de escrita e leitura respectivamente. Percebe-se que para ambas as operações, ocorreram oscilações

01 a 04 de outubro de 2018

Evento: XXIII Jornada de Pesquisa

conforme a variação do DVFS. No entanto, apesar da diferença não ser muito grande, percebe-se através da escala dos gráficos, que o HDD possui uma maior demanda de potência para operações de escrita, enquanto para o SSD, a demanda é maior em operações de leitura.

Figura 8 - Demanda de Potência mensurada



Fonte: O Autor

Para operações de leitura, o HDD utilizou em média 43,8 Watts enquanto o SSD utilizou 41,8 Watts. Isso significa que ao efetuar operações de leitura, o SSD utiliza potência 1,05 vezes menor que o HDD.

Já em operações de escrita, o SSD utilizou potência 1,11 vezes menor que o HDD, pois o HDD demandou uma média de 45,2 Watts de potência, enquanto o SSD demandou a média de 40,9 Watts.

Com relação à variação do DVFS, percebe-se que o HDD manteve-se com potência estável para ambas as operações. Já o SSD apresentou um pequeno aumento de potência, tanto para escrita quanto para leitura, conforme aumentada a frequência do processador.

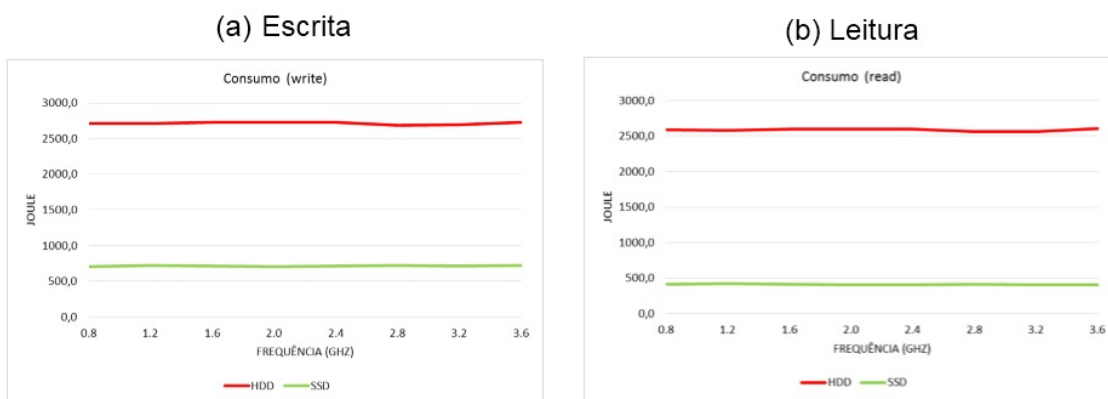
3.3 Análise do Custo Energético

Na Figura 9 é apresentado o custo energético analisado durante os testes. Percebe-se que o consumo do ambiente de testes equipado com HDD é muito maior que o consumo com SSD. Embora os testes com ambos os dispositivos não tenham apresentado diferenças significativas de consumo relacionado à variação do DVFS, é possível perceber que ambos os dispositivos consomem mais energia ao efetuar operações de escrita do que de leitura. No entanto, percebe-se que essa diferença de consumo é maior quando se trata do SSD.

Figura 9 - Custo Energético para a Realização dos Testes

01 a 04 de outubro de 2018

Evento: XXIII Jornada de Pesquisa



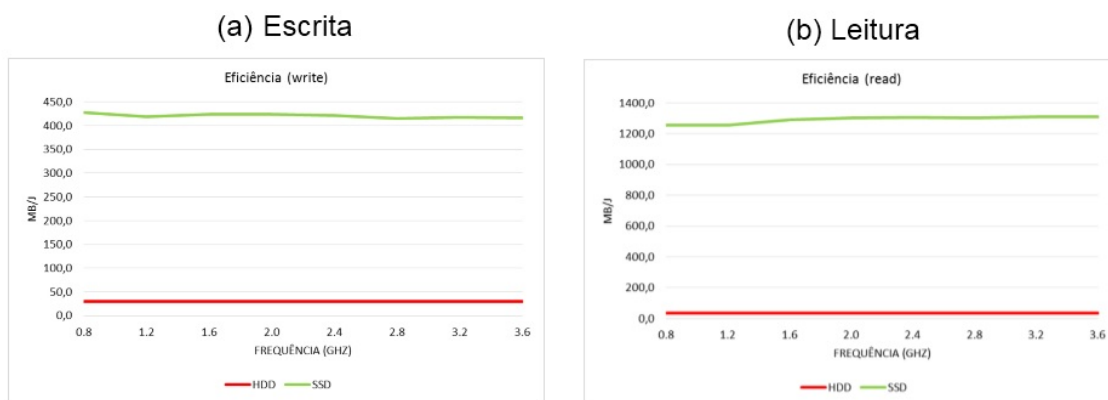
Fonte: O Autor

O consumo médio em operações de leitura foi de 2585,6 Joules do ambiente de testes equipado com HDD, contra 411,9 Joules com SSD. Isso significa que com HDD foi consumido 6,28 vezes mais energia do que com SSD. Já em operações de escrita, com SSD consumiu em média cerca de 714,3 Joules, contra 2715,8 Joules com HDD. Isso equivale a 3,80 menos consumo com SSD se comparado ao consumo com HDD.

3.4 Eficiência Energética

A Figura 10 corresponde à eficiência energética dos dispositivos analisados durante os testes. É possível verificar que com o SSD possui uma eficiência muito superior que com o HDD para ambas operações.

Figura 10 - Eficiência Energética Alcançada



Fonte: O Autor

01 a 04 de outubro de 2018

Evento: XXIII Jornada de Pesquisa

Em operações de leitura, o HDD apresentou a eficiência média de 34,4 MB/J contra 1291,1 MB/J do SSD. Isso significa que o SSD é 37,56 vezes mais eficiente que o HDD no conceito de energia. Já para operações de escrita, essa diferença é menor. O SSD possui em média a eficiência de 420,5 MB/J contra 29,5 MB/J do HDD, ou seja, 14,17 vezes mais eficiente.

Com relação à variação do DVFS, para operações de escrita, ambos os dispositivos se mantiveram estáveis. No entanto, para operações de leitura, constatou-se que o SSD, quanto maior a frequência do processador, maior a sua eficiência energética, embora essa curva de progressão não seja muito elevada.

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Esta pesquisa teve a intenção de apresentar um tema bastante discutido atualmente, o consumo energético na Computação de Alto Desempenho. Para tornar possível a pesquisa prática, foram selecionados dois equipamentos com arquiteturas distintas, uma unidade de disco rígido, HDD, e uma unidade de estado sólido, SSD. Foram executados testes utilizando oito diferentes frequências do clock do processador, realizando através do benchmark, operações de escrita e leitura.

Considerando o cenário deste trabalho, com relação ao DVFS todas as frequências testadas, tanto para escrita quanto para leitura, demonstraram performance muito semelhantes. Com isso, não houve uma única frequência que tenha apresentado destaque em todos os testes.

No entanto, considerando os dispositivos de armazenamento, os SSDs apresentaram possuir significativamente melhor performance em todos os testes, em função de não possuírem partes mecânicas e conterem memórias flash. Dentre os ganhos mais significativos, o desempenho de leitura do SSD, que foi em média 5,98 vezes maior que do HDD, alcançando uma taxa de transferência média de 519,3 MB/s, contra 86,8 MB/s no HDD. Além disso, o custo energético do HDD em operações de leitura também foi em média 6,28 vezes maior que o custo do SSD.

Considerando o cenário exposto, a partir dos resultados alcançados pelas análises realizadas no decorrer do presente trabalho, é possível concluir que o SSD é o mais adequado, pois caracteriza-se em média 37,56 vezes mais eficiente que o HDD em operações de leitura, como também 14,17 vezes mais eficiente em operações de escrita.

Como trabalhos futuros, sugere-se que sejam realizados testes com operações de leitura e escrita aleatória a fim de verificar se ocorram resultados mais satisfatórios com o uso de DVFS, além de desenvolver pesquisas em torno de outras arquiteturas de processadores, como no caso arquiteturas ARM de baixa potência, e arquiteturas de alta performance com processadores Intel Xeon Phi. Além disso, Também pode ser proposto aplicar técnicas de gerenciamento de energia em ambientes de multicomputadores com memória centralizada ou memória distribuída.

REFERÊNCIAS

BERGMAN, K. et al. Exascale computing study: Technology challenges in achieving exascale systems. Defense Advanced Research Projects Agency Information Processing Techniques Office (DARPA IPTO), Tech. Rep, v. 15, p. 1-297, 2008.

01 a 04 de outubro de 2018

Evento: XXIII Jornada de Pesquisa

DOMENICO, D. D.; LIMA, J. V. F.; MARIA-RS-BRASIL, S. Eficiência energética de programas openmp em arquiteturas arm com gpu embarcada. Escola Regional de Alto Desempenho do Estado do Rio Grande do Sul, p. 169-170, 2016.

MAIR, J. et al. Quantifying the energy efficiency challenges of achieving exascale computing. In: IEEE. Cluster, Cloud and Grid Computing (CCGrid), 2015 15th IEEE/ACM International Symposium on. [S.l.], 2015. p. 943-950.

PADOIN, E. L. et al. Performance/energy trade-off in scientific computing: the case of arm big. little and intel sandy bridge. IET Computers & Digital Techniques, IET, v. 9, n. 1, p. 1-14, 27-35, 2014.

WELCH, B.; NOER, G. Optimizing a hybrid ssd/hdd hpc storage system based on file size distributions. In: IEEE. Mass Storage Systems and Technologies (MSST), 2013 IEEE 29th Symposium on. [S.l.], 2013. p. 1-12.