

# Avaliação de Desempenho em Contêineres LXD com Aplicações Científicas na Nuvem OpenNebula

Anderson M. Maliszewski<sup>1</sup>, Gabriel R. Fim<sup>1</sup>, Carlos A. F. Maron<sup>1</sup>, Adriano Vogel<sup>2</sup>, Dalvan Griebler<sup>1,2</sup>, Claudio Schepke<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Laboratório de Pesquisas Avançadas para Computação em Nuvem (LARCC), Faculdade Três de Maio (SETREM), Três de Maio – RS – Brasil

<sup>2</sup> Escola Politécnica, Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul (PUCRS), Porto Alegre – RS – Brasil

<sup>3</sup> Universidade Federal do Pampa (UNIPAMPA), Laboratório de Estudos Avançados (LEA), Alegrete – RS – Brasil

andersonmaliszewski@gmail.com

**Resumo.** *As nuvens privadas IaaS podem fornecer um ambiente atrativo para aplicações científicas. No entanto, como existem diversos modelos de implantação e configuração, avaliar o desempenho dessas aplicações é um desafio. Este artigo tem como objetivo avaliar o desempenho de contêineres LXD gerenciados pelo OpenNebula, utilizando os benchmarks da suite NPB-MPI. Os resultados mostram que o LXD não induz a grandes overheads no desempenho.*

## 1. Introdução

A computação em nuvem tem se transformado em um modelo de serviços que são disponibilizados sob demanda, similar a serviços de utilidade básica, como água, eletricidade, gás e telefonia. Para os usuários de uma nuvem que fazem uso dos seus serviços, as questões de *hardware*, configurações, hospedagem, entre outras, são abstraídos. Desse modo, a nuvem é capaz de fornecer esses, onde as empresas e os usuários podem acessar sob demanda em qualquer local do planeta [Buyya et al. 2009].

Aplicações que resolvem problemas de alta complexidade normalmente necessitam de um alto poder computacional para serem processadas. Esse poder computacional envolve processadores, memória, armazenamento, rede, energia, entre outros, que podem ser encontrados em infraestruturas de nuvem (pública, privada, comunitária, híbrida), onde clássicos modelos de serviços costumam ser ofertados (IaaS, PaaS, SaaS) [Mell et al. 2011]. As tecnologias de virtualização tem um importante papel nas infraestruturas de nuvem. Uma vez que elas atuam na abstração do hardware, o desempenho das aplicações executadas em nuvem se torna uma variável, principalmente quando provedores de nuvem devem cumprir com QoS (*Quality of Service*) para com os usuários.

Portanto, o objetivo desse trabalho é estender as avaliações de desempenho de estudos anteriores que vêm sendo realizadas [Maliszewski et al. 2018a, Vogel et al. 2016, Maron et al. 2015], contribuindo especificamente na avaliação de contêineres LXD, com aplicações científicas (NPB) usando o modelo de programação MPI (*Message Passing Interface*), em ambiente de alto poder computacional, com condições de nuvem privada (OpenNebula). O artigo está subdividido em 4 seções. A Seção 2 descreve trabalhos relacionados. Na Seção 3, são apresentados os resultados obtidos com os experimentos. Por fim, na Seção 4, é apresentado a conclusão e os trabalhos futuros.

## 2. Trabalho Relacionados

Na literatura é possível encontrar vários estudos centrados em computação de alto desempenho. Estes, em sua maioria, comparam e avaliam o desempenho de aplicações paralelas com diversos tipos de implantação, ambiente e configuração. O trabalho realizado por [Vogel et al. 2016] avaliou diferentes ferramentas IaaS com a virtualização KVM para identificar possíveis impactos de desempenho. Os testes foram feitos usando os benchmarks da suite NPB com OpenMP e MPI no OpenStack, OpenNebula e CloudStack. Os experimentos revelaram que não há diferença de desempenho significativa entre as ferramentas da nuvem. Por outro lado, neste trabalho o foco principal é a avaliação de contêineres LXD usando os benchmarks da suite NPB-MPI.

O estudo de [Maliszewski et al. 2018b] avaliou e comparou o desempenho entre as tecnologias de virtualização em KVM e LXC, gerenciados pelo CloudStack, usando aplicações científicas da suite NPB-OMP. Os testes foram divididos em duas metodologias, a primeira com uma instância por máquina, utilizando 100% dos recursos disponíveis, e a segunda, com duas instâncias por máquina física competindo por recursos. Os experimentos mostraram que o desempenho das aplicações executadas em nuvens baseadas em LXC superam as baseadas em KVM em 93.75% dos resultados usando apenas uma instância. Com duas instâncias (*multi-tenancy*), o LXC supera o KVM em 45% dos resultados. Entretanto um grande número de resultados não apresentou diferenças significativas. Em contraste, neste artigo, o foco está baseado na execução de aplicações paralelas usando MPI em contêineres LXD gerenciados pelo OpenNebula.

## 3. Resultados

Este trabalho foi executado na infraestrutura do LARCC<sup>1</sup> em um ambiente composto por 4 nós computacionais com a mesma configuração. O nó *front-end* foi responsável por gerenciar a nuvem assim como executar os experimentos em conjuntos com os demais 3 nós escravos. Tanto o ambiente Nativo quando os contêineres LXD utilizaram o Sistema Operacional Ubuntu 18.04.01 LTS (Bionic Beaver) (Kernel 4.15.0-43). Cada nó possui dois processadores Intel Xeon X5560, 8 núcleos, 16 threads com o Intel Hyper-Threading Technology habilitado, 24GB de RAM (1333MHz), discos de armazenamento Sata II e a rede Gigabit. A ferramenta OpenNebula v5.6.1 foi utilizada como plataforma de nuvem. Além disso, foi usado o GCC v7.3.0.

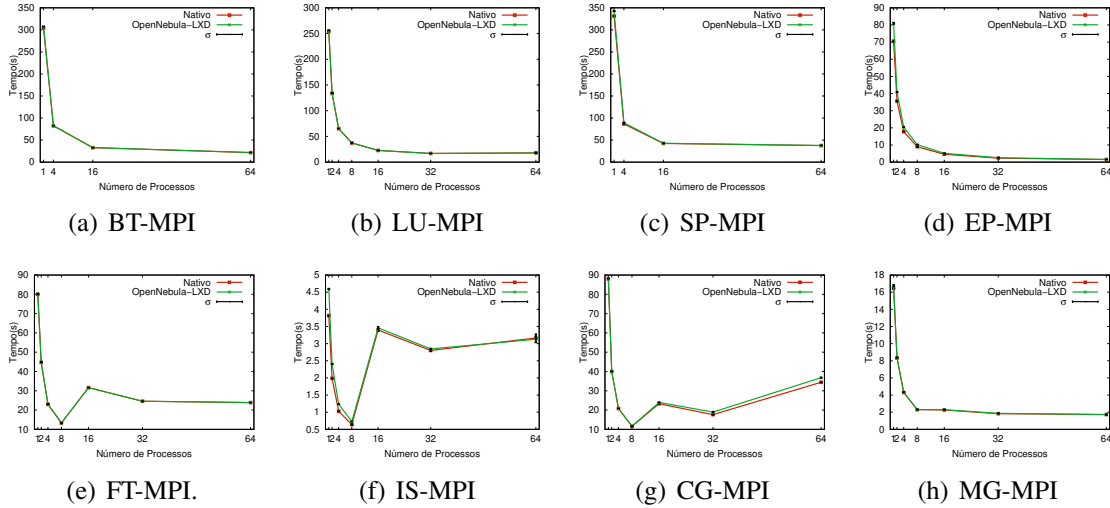
Para realizar a avaliação de desempenho foram escolhidas as aplicações científicas da suite NPB-MPI versão 3.3.1 que foram compiladas com a Classe B, além de adicionar a flag `-O2` no arquivo `“make.def”` da referida suite. Foram instanciados 1 contêiner LXD v3.0.3 por nó, cada qual com oferta computacional total, ou seja, acesso a todos os recursos disponíveis no *hardware*. Posteriormente, foram montadas através do NFS (*Network File System*) v4 uma pasta em cada contêiner, na qual as aplicações LU, EP, FT, IS, CG e MG com 1, 2, 4, 8, 16, 32 e 64 processos e BT e SP com 1, 4, 16 e 64 processos em função da divisão do trabalho, respectivamente, foram executados entre os 4 nós, utilizando o modelo de programação MPI.

Cada experimento foi repetido 40 vezes, para que se pudesse verificar a consistência e desvio padrão dos resultados. Além disso, o ambiente Nativo também fora testado, para que assim pudesse ser criado um *baseline* de resultados, verificando se os contêineres LXD fornecem um ambiente com desempenho que pode beneficiar o uso de aplicações

---

<sup>1</sup>Laboratório de Pesquisas Avançadas para Computação em Nuvem: <http://larcc.setrem.com.br/>

científicas em relação ao ambiente Nativo. Além disso, para uma melhor compreensão dos resultados, todos os testes foram efetivamente monitorados pela ferramenta Zabbix v4.0.3. Nos gráficos da Figura 1 são mostrados os tempos de execução do ambiente Nativo (em vermelho) e LXD (em verde), assim como o desvio padrão, representado pela letra grega  $\sigma$ . À primeira vista dos resultados é perceptível o grau de equiparação dos tempos de execução do ambiente LXD com o ambiente Nativo, indicando que esse tipo de implantação não impõe um *overhead* significativo.



**Figura 1. Resultados das aplicações da suíte NPB-MPI.**

Nas aplicações BT (Figura 1(a)), LU (Figura 1(b)), FT (Figura 1(e)) e MG (Figura 1(h)) não é perceptível qualquer diferença no tempo de execução entre os ambientes distintos. Por sua vez, as aplicações SP (Figura 1(c)) com 1 e 4 processos, EP (Figura 1(d)) com 1, 2, 4 e 8 processos, IS (Figura 1(f)) com 1, 2, 4, 8, 16, 32 e 64 processos, CG (Figura 1(g)) com 16, 32 e 64 processos sofrem *overhead* perceptível no ambiente LXD. No quesito desempenho, também percebe-se que as aplicações FT (Figura 1(e)), IS (Figura 1(f)) e CG (Figura 1(g)) com mais de 8 processos obtêm tempos de execução superiores se comparados com um número de processos menor, como por exemplo com 4 processos. Esse comportamento se deve principalmente à utilização da rede, uma vez que foi utilizado o modelo de programação MPI.

Nas execuções com até 8 processos a rede não foi utilizada, sendo os testes executados em apenas um nó. A partir de 8 processos, a rede servia como meio de comunicação para que as aplicações fizessem uso dos recursos dos demais nós computacionais e assim incrementassem o número de processos. Por conseguinte, as aplicações IS e CG já são conhecidas por apresentarem perdas de desempenho e conseqüentemente *overheads* em ambientes como KVM [Maliszewski et al. 2018a], e agora, confirmaram também o mesmo comportamento no ambiente LXD desta avaliação com MPI. Além disso, verificou-se que o desvio padrão das execuções é mínimo, sendo perceptível apenas na aplicação IS (Figura 1(f)) com 16, 32 e 64 processos.

#### 4. Conclusão

Este artigo apresentou uma avaliação de desempenho em contêineres LXD gerenciados pela ferramenta OpenNebula, no qual foram executados os benchmarks da suíte NPB

usando MPI. Concluiu-se que o LXD fornece um ambiente no qual aplicações científicas podem ser executadas sem que ocorram grandes *overheads*, uma vez que os contêineres são conhecidos por compartilharem do mesmo Kernel Linux do SO, ao contrário do que ocorre com outros tipos de virtualização como o KVM, por exemplo.

Além disso, descobriu-se que fazendo uso do MPI e consequentemente do NFS e rede, algumas aplicações que fazem uso intensivo de memória como o IS e CG apresentam degradações de desempenho. Por fim, através do teste estatístico, verificou-se que em apenas 6,1%, os resultados apresentam diferenças significativas, enfatizando que o LXD apresenta resultados muito próximos do ambiente Nativo.

Como estudo futuro, planeja-se realizar testes com mais de uma instância no mesmo nó computacional e fazer uso de outras tecnologias de virtualização e de gerenciamento de nuvem.

## 5. Agradecimentos

Esta pesquisa foi realizada com o apoio do projeto HiPerfCloud<sup>2</sup> no LARCC<sup>3</sup>. Os autores agradecem o suporte financeiro da Abase Sistemas<sup>4</sup> e da Sociedade Educacional Três de Maio (SETREM)<sup>5</sup>. O presente trabalho foi realizado com apoio da CAPES – Código de Financiamento 001

## Referências

- [Buyya et al. 2009] Buyya, R., Yeo, C. S., Venugopal, S., Broberg, J., and Brandic, I. (2009). Cloud computing and emerging IT platforms: Vision, hype, and reality for delivering computing as the 5th utility. *Future Generation computer systems*, 25(6):599–616.
- [Maliszewski et al. 2018a] Maliszewski, A. M., Griebler, D., and Schepke, C. (2018a). Desempenho em Instâncias LXC e KVM de Nuvem Privada usando Aplicações Científicas. In *18th Escola Regional de Alto Desempenho do Estado do Rio Grande do Sul (ERAD/RS)*, pages 129–132, Porto Alegre, RS, Brazil. Sociedade Brasileira de Computação.
- [Maliszewski et al. 2018b] Maliszewski, A. M., Griebler, D., Schepke, C., Ditter, A., Fey, D., and Fernandes, L. G. (2018b). The NAS Benchmark Kernels for Single and Multi-Tenant Cloud Instances with LXC/KVM. In *International Conference on High Performance Computing & Simulation (HPCS)*, Orléans, France. IEEE.
- [Maron et al. 2015] Maron, C. A. F., Griebler, D., Vogel, A., and Schepke, C. (2015). Em Direção à Comparação do Desempenho das Aplicações Paralelas nas Ferramentas OpenStack e OpenNebula. In *15th Escola Regional de Alto Desempenho do Estado do Rio Grande do Sul (ERAD/RS)*, Gramado, RS, Brazil. Sociedade Brasileira de Computação.
- [Mell et al. 2011] Mell, P., Grance, T., et al. (2011). The NIST definition of cloud computing. *National institute of standards and technology*.
- [Vogel et al. 2016] Vogel, A., Maron, C. A. F., Griebler, D., and Schepke, C. (2016). Medindo o Desempenho de Implantações de OpenStack, CloudStack e OpenNebula em Aplicações Científicas. In *16th Escola Regional de Alto Desempenho do Estado do Rio Grande do Sul (ERAD/RS)*, pages 279–282, São Leopoldo, RS, Brazil.

---

<sup>2</sup><http://hiperfcloud.setrem.com.br/>

<sup>3</sup><http://larcc.setrem.com.br/>

<sup>4</sup><https://www.abase.com.br/>

<sup>5</sup><https://www.setrem.com.br/>