

Aplicações de Computação de Alto Desempenho e Computação em Nuvem na Disciplina de Desenvolvimento de Aplicações Distribuídas

Emanuel Coutinho*, Gabriel Paillard†
Instituto Universidade Virtual
Universidade Federal do Ceará (UFC)
Fortaleza - Ceará, Brasil
emanuel@virtual.ufc.br*, gabriel@virtual.ufc.br†

Resumo—A utilização de Computação de Alto Desempenho em disciplinas de cursos de graduação tem sido cada vez mais comum à medida em que estas aplicações são difundidas em institutos e centros de pesquisa e desenvolvimento. A Computação em Nuvem nos últimos anos tem se tornado um paradigma bastante utilizado para diversos serviços devido à facilidade de utilização baseado no modelo de pagamento por uso. Este artigo tem como objetivo descrever suas aplicações em conjunto em um módulo na disciplina de graduação Desenvolvimento de Aplicações Distribuídas. Algumas práticas utilizadas nas duas áreas foram descritas assim como estratégias utilizadas para sua integração. Uma discussão sobre a disciplina e planejamentos futuros são apresentadas ao final do trabalho.

Keywords—Computação de Alto Desempenho (HPC); Computação em Nuvem; Aplicações Distribuídas; MPI.

I. INTRODUÇÃO

A utilização de Computação de Alto Desempenho ou *High Performance Computing* (HPC) na academia vem aumentando gradativamente. Vários trabalhos de conclusão de curso que realizam experimentos com HPC e aplicações MPI podem ser facilmente encontrados, porém é difícil encontrar trabalhos que descrevam sua aplicação em disciplinas na graduação ou pós-graduação, de maneira metodológica e experimental.

A Computação em Nuvem propõe a integração de diversos modelos tecnológicos para o provimento de infraestrutura de hardware, plataformas de desenvolvimento e aplicações na forma de serviços sob demanda com pagamento baseado em uso [1]. Neste novo paradigma de utilização de recursos computacionais, clientes abrem mão da administração de uma infraestrutura própria e dispõem de serviços oferecidos por terceiros, delegando responsabilidades e assumindo custos estritamente proporcionais à quantidade de recursos que utilizam.

Aplicativos HPC estão cada vez mais sendo usados na academia, laboratórios de pesquisa científica e nas indústrias para análises e fins empresariais. Porém a variação de desempenho e ruído são alguns dos desafios para a execução de aplicativos HPC em Nuvem, além do custo financeiro. Segundo [2] muitos usuários de HPC irão portar suas aplicações para plataformas de nuvem devido a seus benefícios oferecidos como: escalabilidade, elasticidade, ilusão de recursos infinitos, virtualização de hardware, e pagamento pelo uso.

Este trabalho tem como objetivo relatar uma parte da disciplina de Desenvolvimento de Aplicações Distribuídas

e demonstrar a utilização de aplicações HPC em ambientes de Computação em Nuvem. Ele está dividido na seguinte estrutura: uma seção para trabalhos relacionados seguida da descrição da disciplina, outra seção experimentos aplicados, seguida de uma discussão acerca dos resultados obtidos, e finalmente uma conclusão.

II. TRABALHOS RELACIONADOS

A Computação em Nuvem tem sido bastante discutida nos últimos anos. Diversas características de sua arquitetura e modelo de serviços têm chamado atenção para oportunidades de pesquisa. Em [3] uma visão geral da Computação em Nuvem é descrita, com detalhes da arquitetura, modelo de negócio, tipos, tecnologias associadas e desafios de pesquisa. Em [4] uma adaptação de uma revisão sistemática com foco em elasticidade descrevem diversas ferramentas, métricas, benchmarks, arquiteturas e tendências de pesquisa.

É comum identificar trabalhos de conclusão de curso relacionados a HPC [5] [6] [7] e Computação em Nuvem [8] [9], porém não foram encontradas disciplinas em nível nacional que tratassem especificamente dos dois assuntos, seja em disciplinas de cursos de graduação ou pós-graduação.

Além disso, não foi identificado nenhum trabalho que tratasse especificamente dos dois ambientes e os correlacionasse, e que realizasse experimentos de maneira integrada do ponto de vista educacional. O que se encontra de maneira mais comum são tutoriais para configuração de ambientes. Percebeu-se que é difícil encontrar atividades experimentais que consigam juntar as duas áreas e ter uma descrição do ponto de vista metodológico e ferramental, de maneira que alunos possam conhecer os dois ambientes e formas de se integrá-los.

III. DESCRIÇÃO DA DISCIPLINA

A disciplina Desenvolvimento de Aplicações Distribuídas do curso de graduação Sistemas e Mídias Digitais da Universidade Federal do Ceará (UFC) tem como objetivo trabalhar em laboratório, através de atividades práticas, os fundamentos e as tecnologias de sistemas distribuídos. É uma disciplina de laboratório e tópicos avançados em sistemas distribuídos sendo que seu principal pré-requisito é a disciplina de sistemas distribuídos. Sendo assim, faz parte de sua ementa: Computação de Alto Desempenho e Computação em Nuvem. Cabe ressaltar

que os alunos possuem um perfil de desenvolvedores de software. O conteúdo das aulas programadas foram: fundamentos de sistemas distribuídos, RMI e controle de concorrência, algoritmos de coordenação/eleição, *restful webservices*, OSGI, Computação de Alto Desempenho, MPI e Computação em Nuvem.

Os ambientes utilizados nos experimentos foram o ambiente do Centro Nacional de Processamento de Alto Desempenho (CENAPAD) e uma nuvem privada.

No ambiente do CENAPAD é possível a criação e submissão de programas que empregam uma interface de passagem de mensagens como MPI [10]. Esta interface possibilita a comunicação entre os diversos elementos de processamento que compõem o sistema distribuído através do envio e recepção de mensagens. Diferentemente das máquinas de memória compartilhada, onde a comunicação entre os processos ocorre através da memória compartilhada, os sistemas com memória distribuída possuem como único meio de comunicação a troca de mensagens entre suas unidades de processamento.

Uma nuvem privada foi criada com o gerenciador de nuvem OpenNebula [11] versão 3.8, que foi utilizada para a realização dos experimentos. A nuvem privada era composta por máquinas físicas do tipo Ci5 e Ci7, com 24 GB de memória em cada, todas conectadas por uma rede Gigabit Ethernet. Todas as máquinas físicas utilizaram o sistema operacional Ubuntu Server 12.04 64 bits e o hipervisor KVM.

Para os três experimentos as máquinas virtuais possuíam 2 VCPUs, 1 GB de memória e o sistema operacional Ubuntu Server 12.04 64 bits. Um experimento envolvendo MPI e Computação em Nuvem foi proposto para validar o funcionamento das duas tecnologias em conjunto.

A ideia consistiu em montar um *cluster* sobre máquinas virtuais da nuvem e executar aplicações MPI utilizando os recursos deste ambiente. Para isso, foi necessária a construção de um *cluster*, comumente chamado neste caso de *cluster* Beowulf. Esta arquitetura está representada na Figura 1. Para a construção do *cluster*, foram utilizadas quatro máquinas virtuais da nuvem. Após as configurações do ambiente, uma versão do MPI foi instalada nos nós, que foi o MPICH2 [12].

IV. EXPERIMENTOS APLICADOS

A. Aplicações com MPI

O ambiente apresentado foi o LAM-MPI, empregado no *cluster* do CENAPAD, que segue o padrão MPI-2 [10]. Apresentamos diversas funções introdutórias dentre as 125 existentes no ambiente de programação distribuído.

Alguns programas introdutórios foram demonstrados empregando a interface de acesso *web* disponibilizada pelo CENAPAD, chamada A2C [13], uma arquitetura que provê novas funcionalidades e uma interface *web* para acesso a infraestruturas computacionais de alto desempenho.

A seguir observa-se um exemplo de um arquivo SRM, que é um arquivo texto de configuração, e permite a execução de programas no ambiente do CENAPAD.

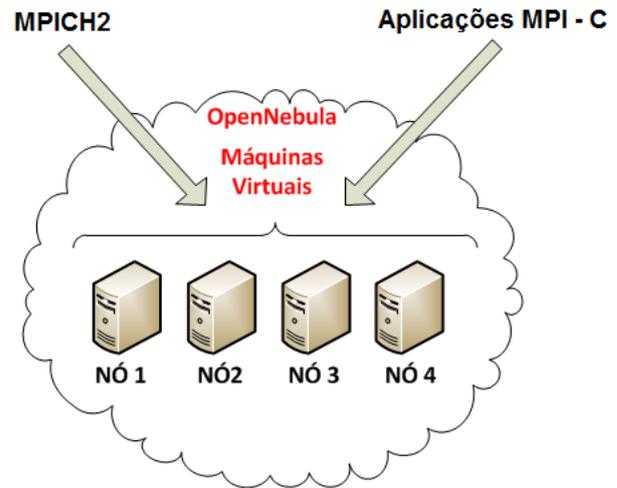


Figura 1: Arquitetura do *cluster* para experimentos HPC em uma nuvem privada

Arquivo SRM

```

1 #!/bin/bash
2 #SBATCH -J pi
3 #SBATCH --partition long
4 #SBATCH --nodes 4
5 #SBATCH --ntasks 1
6 #SBATCH --cpus-per-task 1
7 cd $SLURM_SUBMIT_DIR
8 date; echo _____
9 ulimit -s unlimited
10 ulimit -a
11 srun ./pi
12 echo _____; date

```

Entre os programas apresentados podemos citar o simples e clássico programa *Hello World!* onde cada processo imprimiu esta frase com o acréscimo do seu *rank* no grupo de comunicação do ambiente de comunicação disponibilizado pelo MPI.

Após esses experimentos iniciais iniciou-se o trabalho com passagem de mensagens mais elaboradas entre processos distintos, o que é possível empregando funções específicas do LAM-MPI. Por fim, como um dos objetivos da disciplina era relizar medidas de comparação entre o ambiente de Computação em Nuvem e HPC com o *cluster* disponibilizado pelo CENAPAD, foram solicitadas duas implementações clássicas na área de HPC: multiplicações de matrizes e geração de números primos empregando o Crivo de Eratóstenes. Todas as duas implementações foram realizadas de forma sequencial e distribuída [14].

B. Cluster na Nuvem Privada

As aulas de Computação em Nuvem ocorreram próximo ao final da disciplina. Conceitos e tecnologias associadas foram discutidos, assim como modelo de negócio e serviços. Alguns experimentos exploratórios foram realizados em uma nuvem pública, a Amazon EC2 [15]. Experimentos mais completos foram realizados em uma nuvem privada construída com o OpenNebula [11]. Uma explicação sobre uma aplicação de gerenciamento da nu-

vem privada foi utilizada (*SunStone*), onde foi possível a criação de usuários e máquinas virtuais.

O trabalho dessa parte da disciplina consistiu em executar algumas aplicações MPI em um ambiente de nuvem. Para isso, foi parte do trabalho que os alunos montassem um *cluster* com as máquinas virtuais da nuvem e sobre ele configurassem o MPI. Assim, alguns programas MPI escritos em C seriam executados (os mesmos do experimento no ambiente de HPC real), e seria realizada uma análise de desempenho comparando os dois ambientes em termo da duração dos experimentos.

A Figura 2 descreve o resultado dos experimentos comparando o tempo de execução da aplicação MPI de multiplicação de matrizes e geração de números primos entre os dois ambientes.

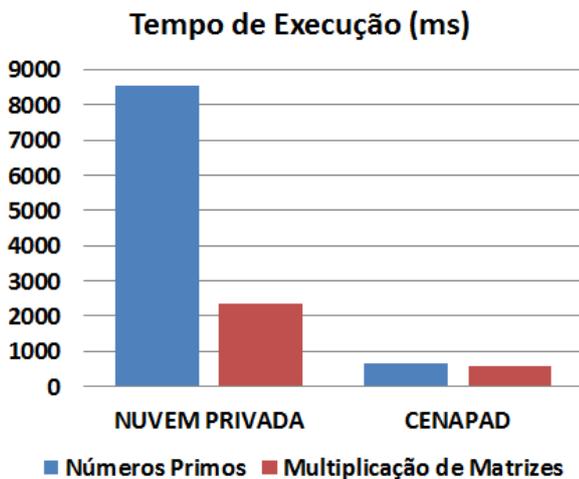


Figura 2: Gráfico com resultados dos experimentos

C. Discussão dos Experimentos

Em relação aos resultados, era esperado que no *cluster* do CENAPAD os resultados fossem bem melhores (tempos de resposta menores) que no *cluster* construído sobre a nuvem privada. Além da diferença de capacidade das máquinas físicas utilizadas, as aplicações utilizaram versões de implementações diferentes do MPI: LAM-MPI no *cluster* do CENAPAD e MPICH2 no *cluster* da nuvem privada, o que também pode ter impactado no desempenho. Essas diferenças provocaram resultados bem diferentes, aspecto relatado pelos alunos, o que inclusive dificultou a comparação, pois as grandezas das configurações são diferentes.

Em uma discussão mais ampla com os alunos sobre os resultados da disciplina, a operação em ambientes distintos, como o de HPC e Computação em Nuvem, e o uso de aplicações integradas traz perspectivas diferentes de arquiteturas distintas, do ponto de vista de complexidade das configurações e projeto das aplicações. Foram ressaltados os pontos fortes de cada uma das arquiteturas, com aplicações específicas para cada uma. Também foi comentado que a utilização de aplicações de HPC deveriam ser mais divulgadas, e também constatou-se que recursos de

centros de pesquisa, como o CENAPAD, poderiam estar sendo melhores aproveitados para aplicações.

Por fim, considera-se que como o objetivo da disciplina e das práticas foi promover a instalação, configuração e utilização de aplicações de HPC, a disciplina logrou êxito.

V. DISCUSSÃO DOS RESULTADOS E CONSIDERAÇÕES FUTURAS

Para o ambiente específico de HPC foi utilizada a infraestrutura do Centro Nacional de Processamento de Alto Desempenho (CENAPAD), onde diversas ferramentas já estão previamente disponíveis. Porém algumas aplicações e *benchmarks* utilizados na nuvem privada não puderam ser instalados, consequentemente não puderam ser empregados para efeitos de comparação. A adequação da infraestrutura de Computação em Nuvem foi um gargalo identificado durante o semestre, pois é necessário ter um ambiente funcional durante a maior parte do tempo, o que não é trivial. Uma nuvem pública poderia ter sido utilizada, mas iria incorrer em custos financeiros. Uma nuvem privada é o ideal, pois há total controle sobre o ambiente. Como não há infraestrutura de nuvem no departamento onde a disciplina é lotada, foi necessário solicitar algumas contas de usuário em outro departamento, que possui uma nuvem privada operacional. Como um trabalho futuro, pretende-se construir uma infraestrutura de nuvem privada no departamento da disciplina para que seja possível a realização de experimentos, não só nesta disciplina, mas em qualquer outra disciplina relacionada.

Outra utilização muito comum do MPI é em aplicações voltadas para bioinformática. Existem diversas implementações paralelas para bioinformática baseadas em MPI. Duas delas são o mpiBLAST, uma implementação paralela do NCBI BLAST, e o ClustalW-MPI, uma implementação paralela para o Clustal-W.

O ClustalW é uma ferramenta para alinhamento de sequências múltiplas de proteínas e nucleotídeos [16]. O alinhamento é executado através de três passos: alinhamento emparelhado, geração de árvores guiadas e alinhamento progressivo. ClustalW-MPI é uma implementação distribuída e paralela do ClustalW [17]. Todos os três passos foram paralelizados para reduzir o tempo de execução. O software utiliza MPI.

O Intel MPI Benchmark [18] executa um conjunto de medições de desempenho para MPI para operações de comunicação ponto a ponto e global para uma faixa de tamanhos de mensagem. Os dados gerados pelo *benchmark* caracterizam o desempenho de um *cluster*, incluindo desempenho dos nós, latência da rede e vazão. Este *benchmark* consiste de três componentes: IMB-MPI1 (*benchmarks* para funções MPI), IMB-EXT (*benchmarks* de comunicação) e IMB-IO (*benchmarks* para I/O).

Tais aplicações e *benchmarks* são de fácil instalação e manuseio, e portanto podem ser adotados nas edições futuras da disciplina como aplicações de HPC e ferramentas para análise de desempenho tanto entre as próprias implementações quanto entre ambientes diferentes.

Em relação à análise de desempenho, um estudo mais aprofundado no desempenho dos ambientes pode ser empregado, tanto no *cluster* do CENAPAD quanto no ambiente de nuvens. Métricas específicas para a análise, como a lei Amdahl (lei que governa o *speedup* na utilização de processadores paralelos em relação ao uso de apenas um processador) podem ser utilizadas para a medição do desempenho.

Por fim, em relação aos alunos, todos os trabalhos propostos foram realizados. Houve certa dificuldade em relação à infraestrutura, o que não impediu a realização dos experimentos. O que faltou, e deverá ser aplicada às próximas edições da disciplina, foi um maior retorno dos alunos em relação ao nível dos experimentos propostos.

VI. CONCLUSÃO

Este trabalho descreveu a disciplina de Desenvolvimento de Aplicações Distribuídas do curso de graduação Sistemas e Mídias Digitais. O foco do trabalho foi na parte relacionada à Computação de Alto Desempenho, envolvendo teoria e desenvolvimento de aplicações MPI. Também introduziu-se o ambiente de Computação em Nuvem, e trabalhos previamente adequados à HPC foram adaptados a este ambiente.

A maior dificuldade deste trabalho foi referente à infraestrutura. Como os dois ambientes utilizados (CENAPAD e nuvem privada) não pertenciam ao departamento, não era prioridade a disponibilidade de recursos e suporte à disciplina. Estas dificuldades não impediram o prosseguimento da mesma, porém algumas das atividades planejadas não foram realizadas. Porém podemos afirmar que o corpo discente teve um um rico aprendizado, seja na operacionalização do ambiente em nuvem ou nas experimentações implementadas e executadas nos dois ambientes.

Devido às dificuldades citadas, um trabalho futuro básico é a construção de uma nuvem privada no departamento para suportar as diversas disciplinas que poderão utilizar este ambiente, como Redes de Computadores e Sistemas Distribuídos. A ampliação dos experimentos, com a utilização de aplicações mais robustas e *benchmarks* também serão incluídas nas próximas edições da disciplina.

REFERÊNCIAS

- [1] T. T. Sá, J. M. Soares, and D. G. Gomes, "Cloudreports: Uma ferramenta gráfica para a simulação de ambientes computacionais em nuvem baseada no framework cloudsim," in *IX Workshop em Clouds e Aplicações - WCGA*, 2011.
- [2] V. Subramanian, H. Ma, L. Wang, E.-J. Lee, and P. Chen, "Azure use case highlights challenges for hpc applications in the cloud," 2011, online; acessado em julho-2013.
- [3] Q. Zhang, L. Cheng, and R. Boutaba, "Cloud computing: state-of-the-art and research challenges," *Journal of Internet Services and Applications*, vol. 1, no. 1, pp. 7–18, May 2010. [Online]. Available: <http://dx.doi.org/10.1007/s13174-010-0007-6>
- [4] E. Coutinho, F. R. C. Sousa, D. G. Gomes, and J. D. Souza, "Elasticidade em computação na nuvem: Uma abordagem sistemática," in *XXXI Simpósio Brasileiro de Redes de Computadores e Sistemas Distribuídos (SBRC 2013) - Minicursos*, may 2013.
- [5] J. M. G. Rocha, "Cluster beowulf: Aspectos de projeto e implementacao," Mestrado, Curso de Mestrado em Engenharia Elétrica, Centro Tecnológico, Universidade Federal do Pará, Belém, 2003.
- [6] W. dos Santos Menenguci, "Computação de alto desempenho envolvendo clusters e métodos numéricos," Monografia, Centro Universitário Vila Velha - Curso de Ciência da Computação - Vila Velha, 2008.
- [7] S. R. d. S. Moraes, "Computação paralela em cluster de gpu aplicado a problema da engenharia nuclear," Mestrado, Instituto de Engenharia Militar - Rio de Janeiro, 2012.
- [8] J. A. Soto, "Opennebula: Implantação de uma nuvem privada e orquestração das máquinas virtuais no paradigma da computação em nuvem," Monografia, Departamento de Engenharia de Teleinformática - Universidade Federal do Ceará- Fortaleza, 2011.
- [9] C. C. Possobom, "Estudo de caso: Cloud computing - computação em nuvem," Monografia, Curso de bacharelado em Informática Sistemas de Informação - Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul - Ijuí, 2010.
- [10] G. Burns, R. Daoud, and J. Vaigl, "LAM: An Open Cluster Environment for MPI," in *Proceedings of Supercomputing Symposium*, 1994, pp. 379–386.
- [11] OpenNebula.org, "Opennebula: The open source toolkit for data center virtualization ::" <http://opennebula.org/>, 2012, online; acessado em janeiro-2012.
- [12] MPICH, "Mpich - high-performance portable mpi," <http://www.mpich.org/>, 2013, online; acessado em julho-2013.
- [13] F. A. O. Maciel, T. M. Cavalcante, J. Q. Neto, J. M. U. de Alencar, C. T. de Oliveira, and R. M. C. Andrade, "Uma arquitetura para submissão e gerenciamento de jobs em infraestruturas computacionais de alto desempenho," in *XI Workshop em Clouds e Aplicações - WCGA*, 2013.
- [14] S. Bokhari, "Multiprocessing the sieve of eratosthenes," *Computer*, vol. 20, no. 4, pp. 50–58, 1987.
- [15] AmazonWebServices, "Amazon web services (portuguese (brazil))," <http://aws.amazon.com/pt/>, 2013, online; acessado em janeiro-2013.
- [16] B. I. A. Singapore, "Clustal - wikipedia, the free encyclopedia," <http://en.wikipedia.org/wiki/Clustal>, 2013, online; acessado em julho-2013.
- [17] Wikipedia, "Clustew-mpi," <http://www.bii.a-star.edu.sg/achievements/applications/clustalw/index.php>, 2013, online; acessado em julho-2013.
- [18] Intel, "Intel mpi benchmarks 3.2.4 - intel developer zone," <http://software.intel.com/en-us/articles/intel-mpi-benchmarks>, 2013, online; acessado em julho-2013.