

Avaliação da Escalabilidade de Aplicações de Alto Desempenho em Nuvem Pública e Privada

Ariel Lauber de P. Silva¹, Thiago B. de Oliveira¹

¹ Bacharelado em Ciências da Computação – Universidade Federal de Goiás (UFG)
Regional Jataí – Campus Cidade Universitária – BR 364, KM 195, 3800
CEP: 75801-615 – Jataí – GO – Brasil

ariellauber@gmail.com, thborges@ufg.br

Abstract. *The high performance computing application analysis (HPC), has recently been facilitated by the use of cloud platforms. However, the performance of HPC applications relies heavily on the support I/O platform, mainly the communication network between the VMs¹. In this study, the application performance of the NPB-NAS Parallel Benchmark suite and DGEO suite, which uses processing spatial queries was compared in a physical cluster, a private cloud, XenServer, a public cloud, Microsoft Azure. The tests demonstrate one speed up to 3.0 times lower in the public cloud for limited by CPU applications, and a runtime up to 3 times greater than the physical cluster. The speed-up between cloud platforms tested here was analyzed that it is not only affected by the extra layer of virtualization, but also by other factors platform cloud as VMs neighbors.*

Resumo. *A avaliação de desempenho de aplicações de computação de alto desempenho (HPC) foi recentemente facilitada pelo uso de plataformas em nuvem. No entanto, o desempenho de aplicativos HPC depende fortemente do suporte de I/O da plataforma, principalmente da rede de comunicação entre as VMs. Neste estudo apresentamos o resultado de uma avaliação de escalabilidade de aplicações HPC em cluster físico, nuvem privada usando XenServer e em nuvem pública, Microsoft Azure. Os testes demonstram um speed-up até 3,0 vezes menor na nuvem pública para aplicações limitadas por CPU, e um tempo de execução até 3 vezes maior em relação ao cluster físico. Os resultados indicam que, apesar de conveniente, testar a escalabilidade de aplicações distribuídas em plataformas virtuais (nuvem pública ou privada) pode levar a interpretações incorretas ou imprecisas a respeito da escalabilidade de alguns tipos de aplicações distribuídas.*

Introdução

O aumento recente da disponibilidade de plataformas de nuvem, principalmente fornecedores de infraestrutura como serviço (IaaS), tem causado uma migração da análise de aplicações de computação de alto desempenho (HPC - *High Performance Computing*). Aplicações e serviços que antes eram testadas exclusivamente em *clusters* ou servidores nos centros de computação nas universidades ou em pequenas e médias empresas, são hoje testadas e hospedadas em *clusters* virtuais na nuvem. Os subsídios concedidos pelos

¹Virtual Machine (VM).

fornecedores de infra-estrutura para projetos de pesquisa nas universidades também tem contribuído neste sentido².

O uso de plataformas de computação em nuvem é vantajoso devido a três fatores principais: *i*) a facilidade de configurar e manter *clusters* para execução de aplicações HPC, *ii*) a inexistência do custo inicial para adquirir a infraestrutura necessária e, *iii*) a elasticidade, que proporciona o aumento da infraestrutura sob demanda, fato primordial para o teste de aplicações distribuídas.

Apesar dos avanços das tecnologias de compartilhamento de I/O em VMs, como Intel VT-X [Abramson et al. 2014] e AMD-V IOMMU (AMD) [AMD 2011], alguns aspectos da virtualização ainda causam preocupação atualmente. Um deles é a interferência de VMs vizinhas, alocadas na mesma máquina física. Esta estratégia é empregada pelos provedores de computação em nuvem, com objetivo de reduzir custos e o consumo de recursos naturais [Ferreira et al. 2014]. O isolamento entre as VMs, ainda hoje, é um problema reportado por alguns artigos como [Mei et al. 2013, Tudoran et al. 2012, Barker e Shenoy 2010, Hill et al. 2010]. Este fato, se não observado adequadamente, compromete a repetibilidade dos experimentos, conforme discutido por [Bakhshayeshi, Akbari e Javan 2014].

Neste trabalho foi realizada uma avaliação de escalabilidade (*speed-up*) e de tempo de processamento em plataforma de nuvem pública Azure³, nuvem privada Xen-Server⁴, e em uma *cluster* físico, sem virtualização. Foram usadas duas suítes de aplicações para obter valores representativos de *speed-up*: a suíte NPB-NAS Parallel Benchmark [Bailey et al. 1991] e o banco de dados espacial experimental DGEO [Oliveira, Costa e Rodrigues 2015].

Este artigo expande nosso trabalho anterior, publicado em [Oliveira et al. 2015], incluindo a avaliação das mesmas aplicações em uma nuvem privada, a fim de esclarecer se o resultado anterior, em relação ao menor desempenho das aplicações na nuvem pública, se deve à concorrência de VMs vizinhas ou ao *overhead* da tecnologia de virtualização empregada pelo provedor de serviços.

As principais contribuições deste trabalho são:

- Avaliação comparativa de aplicações de HPC entre *cluster* físico, nuvem pública e privada, afim de identificar possíveis diferenças de tempo de execução e valores de *speed-up*;
- Avaliação de aplicações com níveis de *speed-up* diferenciados e representativos;
- Avaliação do comportamento de aplicações *CPU-bound* e *Network-bound*; e
- Identificação de comportamentos que interferem na escalabilidade, tanto na nuvem pública, privada e no *cluster* físico.

Trabalhos Correlatos

Apesar do grande esforço em medir o desempenho de plataformas de computação em nuvem, fato que pode ser notado devido ao grande volume de publicações recentes que

²A Microsoft e a Amazon possuem programas universitários de apoio à pesquisa em suas respectivas plataformas de computação em Nuvem: Azure e *Elastic Compute Cloud* (EC2).

³<https://azure.microsoft.com/en-us/>

⁴<http://xenserver.org/>

fazem avaliações nos ambientes em nuvem [Sivathanu e Dong 2013], a quantidade de variáveis que interferem na comparação é muito grande e isso dificulta uma avaliação completa das plataformas. Como é afirmado por [Hill et al. 2010], não há uma taxonomia de avaliação amplamente aceita e muitos trabalhos confundem os termos ou realizam experimentos inconsistentes para avaliar determinadas características.

A maioria dos trabalhos analisam comparativamente as implementações de VMM existentes, como [Walters et al. 2008, Huber et al. 2011, Bakhshayeshi, Akbari e Javan 2014]. Nota-se uma instabilidade em relação às conclusões, devido a constantes evoluções das tecnologias de virtualização e da recente disponibilização de *hardware* com suporte à virtualização (Intel VT-D e AMD-V). Alguns trabalhos avaliam o desempenho de diferentes tecnologias de virtualização (Paravirtualização, Virtualização Completa, e outras), como é o caso do trabalho de [Younge et al. 2011]. Atualmente, os principais VMMs existentes implementam somente a tecnologia de Paravirtualização ou Virtualização Completa.

O estudo de [Ferreira et al. 2014] conclui que o aumento da quantidade de VM por máquina física é o fator mais relevante na redução do desempenho de VMs vizinhas, devido à maior concorrência por recursos na máquina física. A falta de controle da vizinhança por parte do usuário da plataforma e a falta de isolamento do VMM, comprometem a repetibilidade dos experimentos, conforme é discutido em [Tudoran et al. 2012, Mei et al. 2013, Bakhshayeshi, Akbari e Javan 2014].

Para demonstrar a variação de desempenho devido a este compartilhamento, [Tudoran et al. 2012] avaliou comparativamente uma nuvem privada, Nimbus e a nuvem pública, Azure. A conclusão do estudo em relação ao desempenho foi que há uma variabilidade considerável numa janela de tempo de uma semana. O desvio padrão do percentual de variação relatados foram de 24,2% para a nuvem Nimbus contra 52,3% para as instâncias ExtraLarge⁵ e 120,7% para Small⁶ na nuvem Azure. Outros resultados reafirmam a falta de isolamento entre as VMs vizinhas como os apresentados em [Mei et al. 2013, Barker e Shenoy 2010, Hill et al. 2010].

Poucos estudos avaliam a consequência destas conclusões na escalabilidade de aplicações distribuídas em *clusters* de VMs. O trabalho mais relevante encontrado foi [Expósito et al. 2013]. Nele, aplicações de HPC selecionados da suíte NPB-NAS Parallel Benchmark foram avaliadas na plataforma EC2 da Amazon. No entanto não foi realizado um estudo comparativo entre as plataformas em nuvem pública, privada e *cluster* físico.

Neste estudo, expandimos os resultados publicados em [Oliveira et al. 2015], que comparou os valores de *speed-up* de aplicações selecionadas de HPC entre um *cluster* virtual em nuvem pública e um *cluster* físico. Os resultados reportados, apesar de conclusivos em relação a escalabilidade e tempo de execução, não identificaram se o *overhead* encontrado na plataforma pública se devia ao uso de VMs vizinhas ou à tecnologia de virtualização utilizada na plataforma pública. Neste trabalho, realizamos a avaliação das mesmas aplicações em uma nuvem privada, usando XenServer, tecnologia diferente da usada na nuvem pública, e comparamos os resultados entre as três plataformas.

⁵ExtraLarge: 8 vCPUs e 14 GB de RAM, e com *interface* de rede exclusiva.

⁶Small: Instância com 1 vCPU e 1,75 GB de RAM, e *interface* de rede compartilhada.

Metodologia de Avaliação

Para os experimentos, as aplicações foram selecionados, observando esses fatores:

1. O *speed-up* da aplicação, de forma a ter valores representativos, tanto de *speed-up* próximo a nulo quanto próximo a linear;
2. A diversidade da aplicação em relação ao recurso computacional, tais como: rede ou CPU, e;
3. Se a aplicação explora múltiplos níveis de paralelismo, ou seja, além do paralelismo inerente a distribuição, a aplicação também realiza processamento paralelo *multithread*, preparada para o uso de máquinas *multicore*.

Para a aferição dos valores de *speed-up*, *clusters* de tamanhos variados foram configurados, com o objetivo foi aumentar a taxa de utilização da *interface* de rede, pois este é o principal limitador de *speed-up* em sistemas distribuídos. Ao testarmos um *cluster* com 8 CPUs ou 8 vCPUs, por exemplo, preferiu-se utilizar 8 máquinas com 1 núcleo habilitado em cada máquina, de forma que as 8 máquinas efetuem comunicação entre si pela *interface* de rede.

Aplicações Executadas nos Experimentos

Um conjunto de aplicações da suíte NPB-NAS foram usadas nos experimentos. As aplicações, também chamadas *kernels*, são escritas em linguagem C e Fortran, utilizando a especificação de comunicação distribuída MPI (*Message Passing Interface*). A implementação de MPI utilizada foi o OpenMPI⁷. As aplicações escolhidas são as que mais usam banda de rede durante sua execução, conforme indicado em [Bailey et al. 1991, Expósito et al. 2013]. São elas:

1. *IS_C*: Realiza ordenação de números inteiros. Usa *all-reduce* e comunicação ponto-a-ponto na inicialização;
2. *MG_C*: *Mult-Grid* numa sequência de de Meshes, comunicação;
3. *CG_C*: Resolve um sistema linear com o método do Gradiente Conjugado;
4. *FT_C*: Transformada Rápida de Fourier 3D. Uso extensivo de primitivas *all-to-all* que sobrecarregam a rede.

Embora a suíte NPB-NAS seja referência para mensurar o desempenho de máquinas paralelas (com memória compartilhada ou distribuída), os autores afirmaram que usaram instâncias simplificadas de programas reais, que possuem casos melhores de balanceamento de carga [Bailey et al. 1991]. Por isso, a aplicação DGEO [Oliveira, Costa e Rodrigues 2015] foi utilizada nos experimentos. Esta aplicação processa consultas reais de junção espacial, de forma paralela e distribuída. Foi desenvolvida em um projeto de pesquisa em nossa universidade, utilizando linguagem C e Go, com *threads* nativas para explorar múltiplos níveis de paralelismo e comunicação distribuída através de protocolos próprios, usando serialização Gob, sobre *sockets* TCP.

No DGEO, três consultas espaciais foram empregadas nos testes (Q_a , Q_b e Q_c). Cada consulta possui um *speed-up* particular, devido às dependências existentes entre os dados espaciais. As consultas foram escolhidas de forma a representar o comportamento de aplicações pouco escaláveis, $\frac{1}{4}$ *speed-up* escaláveis e $\frac{1}{2}$ *speed-up* escaláveis.

⁷www.open-mpi.org

A cada teste executado, todos os processos de SO referentes às aplicações foram encerrados e reiniciados, com o objetivo de não reaproveitar *caches* da aplicação, do SO ou do *hardware*. Nenhuma das aplicações utilizam dados armazenados em disco local na inicialização, e não foi necessário, portanto, limpar a *cache* de disco do SO.

Os tempos de inicialização das aplicações foram descartados, e somente o tempo de processamento efetivo do algoritmo distribuído foi considerado. Cada uma das aplicações foi executada cinco vezes⁸. Os valores apresentados na seção de resultados foram calculados ignorando o maior e o menor tempo encontrados, e uma média dos outros três valores foi calculada. Nos testes realizados na nuvem pública, as medições foram comparadas em dias e momentos diferentes, para garantir que os tempos não sofreram interferência momentâneas da plataforma.

Configuração dos *Clusters* utilizados

Nos experimentos realizados na nuvem pública, privada e no *cluster* físico, foi usado um total de 16 máquinas em cada. O *cluster* físico utilizou um conjunto de máquinas do Laboratório de Redes de Computadores (LARC), do Curso de Ciência da Computação da Regional Jataí, da Universidade Federal de Goiás. O *cluster* virtual na nuvem pública foi configurado na plataforma Azure, da Microsoft, com instâncias de VMs de tamanho A1 a A3. A tabela 1 detalha o *hardware* completo das máquinas do *cluster* físico e virtuais da nuvem pública.

Tabela 1. Detalhes do *Hardware* dos *clusters* utilizados.

Item	<i>Cluster</i> Físico	<i>Cluster</i> Virtual (Azure)
Quantidade de Máquinas	16	16
CPU	Intel Core i5 3330 3 GHz	Intel Xeon E5-2660 2.2 GHz
Núcleos	4	8 ^a
Cache	6MB	20MB
RAM	DDR3 SDRAM 4 GB 1.333 MHz	Não documentado ^b
Rede	1 Gbps	1 Gbps
Sistema Operacional	XenServer 6.5	Ubuntu Server 14.4 LTS
Switch	D-Link DGS-1210-28P Gigabit	Não documentado ^c

^aO processador Xeon E5-2660 possui 8 núcleos. Neste experimento, duas VMs podem ser vizinhas no mesmo chassi.

^bO tamanho é particular da instância e foi limitado de acordo com cada instância escolhida, para refletir a mesma quantidade da máquina física.

^cComo é comum entre os provedores de plataforma de nuvem, a descrição completa dos equipamentos físicos não é fornecida.

A nuvem privada usou como *hypervisor* o XenServer 6.5. Em cada máquina física da nuvem privada, foi criada uma VM com SO Ubuntu Server 14.04 LTS 64 bits.

O *cluster* físico foi configurado com SO Ubuntu Server 14.04 LTS 64 bits. Para todos os testes realizados localmente nas dependências do LARC (nuvem privada e *cluster* físico) foi criado um servidor DHCP local pra prover o isolamento da rede das máquinas com a rede da Universidade.

A quantidade de núcleos de processamento do *cluster* físico e nuvem pública variou de 1 a 64 núcleos: de 1 máquina, com apenas um núcleo habilitado, até 16 máquinas

⁸Um número maior de execuções não foi necessário devido ao baixo desvio padrão das amostras.

com 4 núcleos habilitados em cada máquina. Os tamanhos de instância foram escolhidos de forma a usar ao máximo a interface de rede disponível. A Tabela 2 detalha a composição de cada instância na nuvem pública.

Para limitar a quantidade de núcleos nas máquinas do *clusters* físico, e na nuvem privada XenServer, para os experimentos com 1 ou 2 núcleos de CPUs, os núcleos foram desabilitados através do comando específico do GNU/Linux (`echo 0 > /sys/devices/system/cpu/cpuX/online`).

Tabela 2. Instâncias utilizadas nos experimentos.

Núcleos	Máquinas	Núcleos p/ Maq	Instância Azure
1	1	1	A1
2	2	1	A1
4	4	1	A1
8	8	1	A1
16	16	1	A1
32	16	2	A2
64	16	4	A3

Na nuvem pública Azure, as VMs foram desligadas e redimensionadas com a quantidade de vCPUs indicada em cada instância. Como no ambiente Azure a quantidade de RAM aumenta à medida que a quantidade de vCPUs aumenta, para prover o mesmo comportamento em relação à disponibilidade de RAM, foi criado um aplicativo que reserva a quantidade de RAM excedente (em relação às máquinas físicas) e evita paginação, através da chamada de sistema ‘mlock’. Este aplicativo foi executado antes de cada teste com tamanho diferente de instância.

Avaliação de Desempenho

Esta seção avalia os resultados obtidos, conforme a metodologia descrita dos cenários na seção anterior.

Tempo de Execução das Aplicações DGEO

Mesmo com a diferença de entre o *hardware* do *cluster* físico e da nuvem pública, ou seja, *i*) apesar do maior *clock* de CPU no *cluster* físico (3 GHz x 2.2 GHz) e *ii*) uso de processadores específicos para servidores na nuvem pública, o Intel Xeon, com memória *cache* de CPU maior (20 MB x 6 MB), os experimentos identificam, na média entre todas as execuções das aplicações classificadas com *CPU-bound*, que o tempo de execução em ambiente Azure (TA) é até três vezes maior, quando comparado com o *cluster* físico (TF), assim como apresenta a Figura 1.

Somente a diferença percentual de *clock* que é de 33,6% não pode justificar essa variação de até $\approx 300\%$ mais rápido em ambiente físico. Como essas aplicações *CPU-bound* não são intensivas de rede, disco e nem RAM, a diferença se deve ao próprio ambiente compartilhado de nuvem pública, assim reafirmando os resultados discutidos nos trabalhos de [Sivathanu e Dong 2013], [Barker e Shenoy 2010] e [Hill et al. 2010], ou seja, há uma perda de desempenho no ambiente em nuvem, em relação aos tempos de execução, mesmo com uma maior qualidade dos processadores utilizados.

A Figura 2 apresenta a comparação entre os ambientes virtualizados: Azure e XenServer. Observando a figura é possível notar que o tempo de execução das aplicações

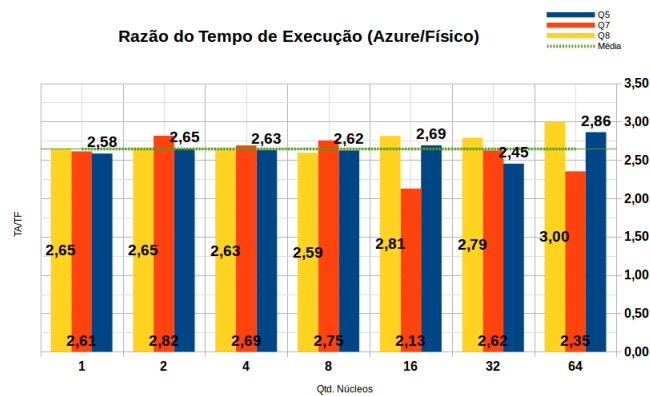


Figura 1. Tempo de execução do Azure e o cluster físico.

CPU-bound no XenServer é menor em relação ao Azure, sendo que essa variação máxima é de 2,82 vezes maior no tempo de processamento no Azure.

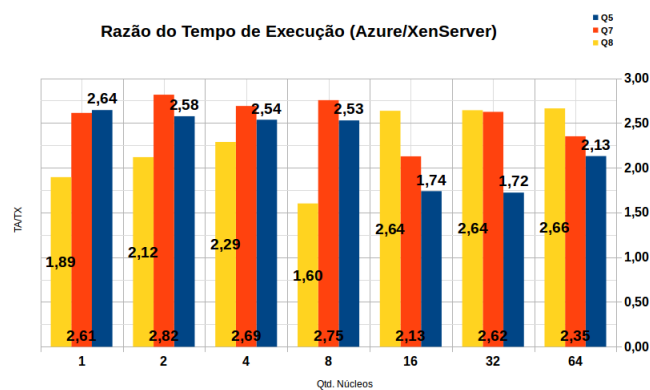


Figura 2. Tempo de execução entre o Azure e o XenServer.

A Figura 3 apresenta a relação de tempo entre o XenServer e o *cluster* Físico. Consta-se uma maior proximidade entre o tempo de execução nos dois ambiente, comparando com (Azure \times Físico). A proporção atinge no máximo 1,62 vezes, mas na média é de 0,21 vezes. Conclui-se, portanto, que para as aplicações *CPU-bound* utilizadas nestes experimentos, a camada de virtualização interferiu substancialmente no tempo de execução das aplicações e o maior *overhead* foi no ambiente Azure.

Tempo de Execução das Aplicações NPB-NAS

Analisamos também as aplicações da suíte NPB-NAS. Na Figura 4 temos a relação de tempo gasto em ambiente Azure em relação ao físico. Com a análise podemos averiguar que de modo geral, o físico foi no máximo 3,52 vezes mais rápido nos processamentos das aplicações de *benchmarks* que a plataforma em nuvem pública Azure, resultado similar aos testes com a aplicação DGE0.

Um comportamento importante na Figura 4 é em relação a quantidade de núcleos. Conforme aumenta-se os núcleos de processamento, ou seja, 1, 2, 4, 8, 16, 32 e 64, a razão do tempo de processamento entre a nuvem pública e o *cluster* físico vai acompanhando a curva da quantidade de núcleos, na segunda escala do eixo Y. Esse comportamento pode

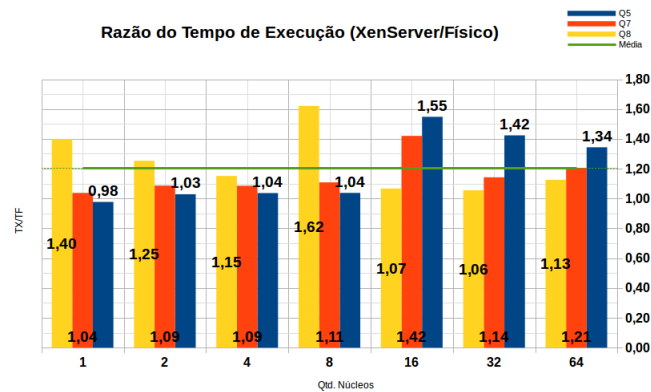


Figura 3. Tempo de execução entre o XenServer e Físico.

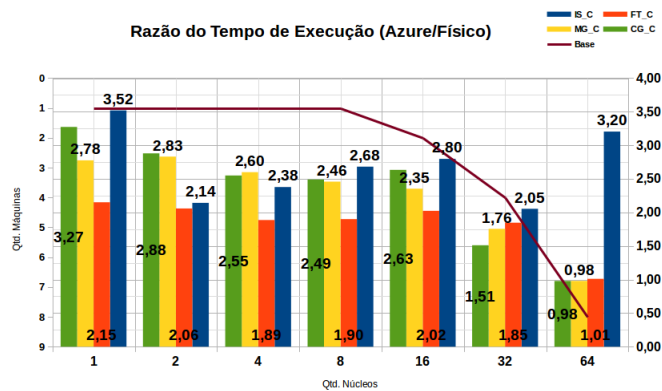


Figura 4. Tempo entre a plataforma Azure e cluster físico.

ser justificado devido ao uso de VMs vizinhas, ou seja, mais de uma máquina virtual em funcionamento no mesmo chassi: enquanto as máquinas virtuais estão no mesmo chassi (cada máquina física na plataforma Azure possui oito núcleos), a linha permanece estável. Porém, de 8 núcleos em diante a linha começa a acompanhar a razão entre as plataformas. Este comportamento fez com que toda a comunicação entre essas máquinas seja realizada dentro do *hypervisor*, sem comunicação real pela interface de rede. Esse experimento apresenta mais um aspecto importante a ser observado na comparação de escalabilidade em ambiente virtual público, pois o pesquisador não tem controle sobre este aspecto através da interface do provedor.

A Figura 5 compara o tempo do Azure e do XenServer. Verificamos que conforme aumenta-se a quantidade de núcleos a razão entre as duas plataforma diminui, ou seja, os tempos são mais similares entre nuvem pública e nuvem privada.

O comportamento das aplicações da suíte NPB-NAS, que obtiveram valores gradativamente menores em ambiente de pública quando comparados com a nuvem privada, é explicado em duas formas: *i*) pela própria característica das aplicações de serem *network-bound* e *ii*) na nuvem termos uma maior oferta de banda de rede, ou seja, o uso das instâncias A2 e A3 na nuvem pública Azure, que possuem maior quantidade de banda de rede disponível, e segundo o fato de que em ambiente Azure os servidores físicos possam estar utilizando de VMs vizinhas, fato já reportado por [Sivathanu e Dong 2013] e [Tudoran et al. 2012]. Com o uso de VMs vizinhas, toda a comunicação que seria feita

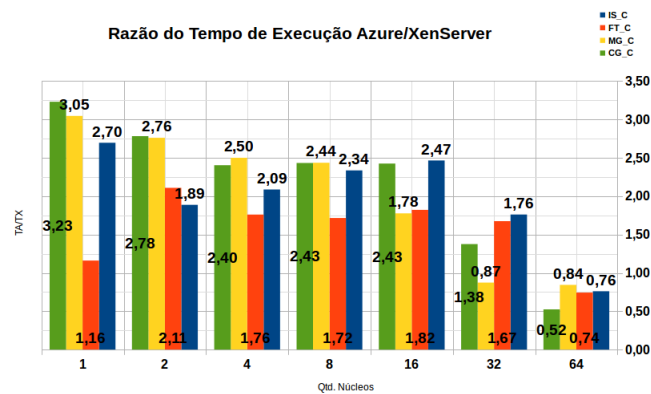


Figura 5. Tempo do Azure e o XenServer.

via rede, passa a ser feita internamente entre as VMs, com isso a taxa de comunicação é superior se comparada com máquinas físicas.

Escalabilidade das Aplicações

Nesta seção apresentamos a escalabilidade das aplicações das suítes NPB-NAS e DGEO. Durante os experimentos foi constatado três comportamentos distintos das aplicações em relação ao valor do *speed-up*: *i*) a aplicação analisada se comporta de forma similar em todos os ambientes, *ii*) o valor do *speed-up* é significativamente maior em ambiente físico e *iii*) o *speed-up* é significativamente maior em ambiente em nuvem.

A Figura 6 apresenta o resultado de escalabilidade nos três ambientes. Para as aplicações da suíte DGEO, o comportamento escalável entre as aplicações nos três ambientes ocorreu conforme esperado, sendo a ordem decrescente de escalabilidade temos o Q5, Q7 e Q8 em todos os ambientes. Entre os ambientes testados temos variações nos resultados, sendo que a aplicação Q5 foi com melhor *speed-up* no físico com 17,09 pts, Azure com 15,82 pts e XenServer com 13,09 pts; o Q7 foi melhor em ambiente Azure com 9,09 pts, físico com 8,41 e XenServer com 7,59 pts; já o Q8 foi melhor em ambiente no XenServer com 2,56 pts, físico com 2,30 pts e Azure com 2,03 pts. Sendo que ao analisarmos uma média geral de *speed-up* das aplicações, temos o físico com 9,56 pts, o Azure com 8,98 pts, e o XenServer com 7,74 pts.

Para as aplicações da suíte NPB-NAS, houveram dois comportamentos similares, para o físico e o XenServer. Como o *hardware* em que as aplicações foram executadas é mesmo nos dois ambientes, os valores obtidos *speed-up* também foram próximos. A pequena diferença se deve a camada de virtualização. No ambiente físico foram obtidos os melhores valores de *speed-up* em todas as aplicações.

Já no ambiente Azure rodando as aplicações NPB-NAS obtivemos um comportamento diferente dos ambientes XenServer e físico. Algumas aplicações obtiveram melhor *speed-up* no Azure, já outra foi melhor no físico. Dentre as aplicações que foram melhor no Azure, temos a MG com 9,06 pts contra 2,30 pts; a FT com 8,44 pts contra 4,14 pts; e o CG, com 3,09 pts contra 1,05 pts. Já a única aplicação que obteve um melhor valor de *speed-up* no físico, temos a IS, com 4,14 pts, contra 3,02 pts. A Figura 7 apresenta os resultados para a suíte NPB-NAS. Podemos analisar que as aplicações MG, FT e CG tiveram os melhores resultados de *speed-up* no ambiente Azure.

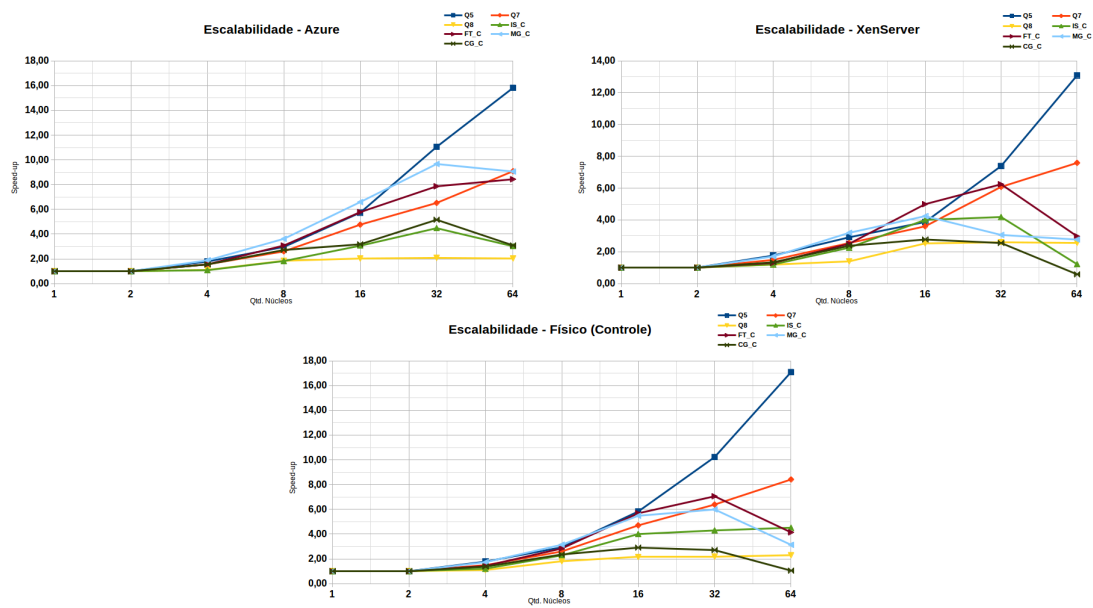


Figura 6. Escalabilidade das aplicações nos ambientes Público, Privado e Físico.

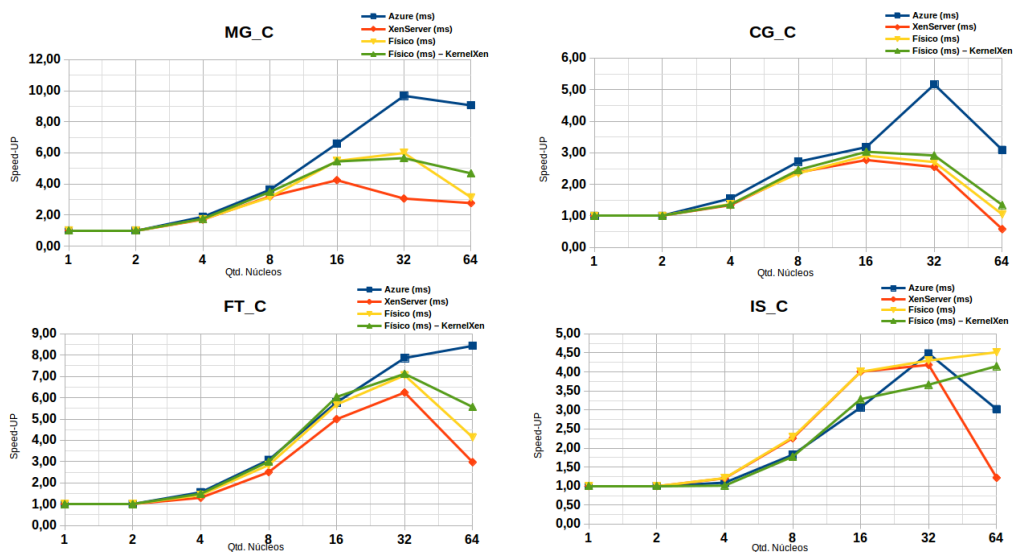


Figura 7. Avaliação da aplicação MG, CG, FT e IS.

Na Figura 8, temos as aplicações da suíte DGEO. Podemos averiguar que *cluster* físico obteve um melhor valor de *speed-up* no Q5, enquanto a nuvem pública Azure foi com uma leve vantagem no *speed-up* Q7, e a nuvem privada XenServer obteve melhores valores de *speed-up* no Q8. Ao analisarmos a nuvem pública com o físico, temos que o físico obteve os melhores valores de *speed-up* nas aplicações Q5 e Q8, sendo que no Q7 a diferença é muito pouca entre os dois ambientes, tendo o Azure obtido 9,09 pts e o físico 8,41 pts. A aplicação Q5 tem como padrão de desenvolvimento a característica de obter valores de *speed-up* próximos a $\frac{1}{2}$, enquanto a aplicação Q7, de ser $\frac{1}{4}$, e por sua vez a aplicação Q8 possui valor de *speed-up* próximo a nulo.

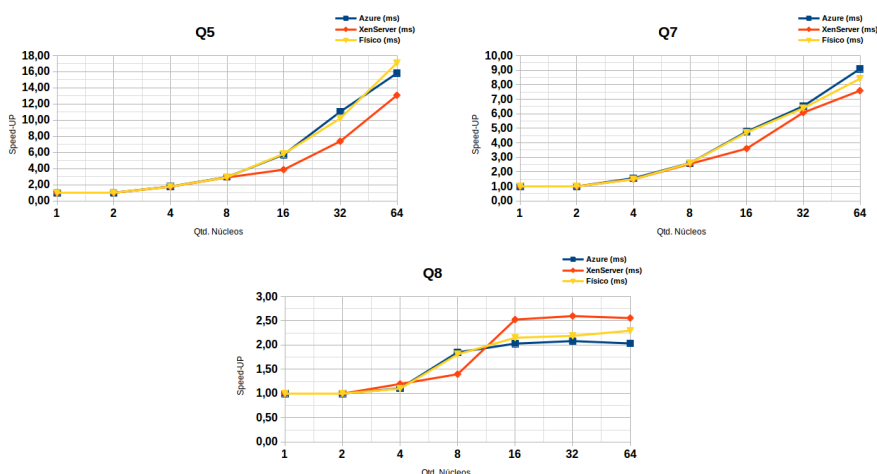


Figura 8. Avaliação das aplicação Q5, Q7 e Q8.

Conclusão

Este trabalho avaliou a escalabilidade de aplicativos de *benchmark* da suíte NPB-NAS, e de aplicações reais de processamentos de dados espaciais, a suíte DGEO, em uma nuvem pública, Azure, e uma nuvem privada, com o XenServer, usando como referência e controle um *cluster* de máquinas físicas sem virtualização de configuração similar a nuvem pública.

As aplicações foram escolhidas para demonstrar diferentes tipos de uso de recursos computacionais: aplicações *CPU-bound* e *network-bound* com diferentes níveis de *speed-up*. O intuito foi descobrir se, e como, a plataforma em nuvem compromete a execução de testes científicos de escalabilidade na nuvem.

Nos experimentos, o *speed-up* das aplicações quando executadas na nuvem pública foi até três vezes menor para aplicações *CPU-bound*, em comparação com um *cluster* físico com *hardware* equivalente. Apesar da qualidade superior da infraestrutura na nuvem pública, as aplicações também apresentaram tempo de execução até três vezes maior, comparando com o tempo de execução no *cluster* físico. Comparando o *speed-up* das aplicações entre as nuvens pública e privada foi verificado que o mesmo não é afetado somente pela camada adicional de virtualização, mas também por outros fatores da plataforma de nuvem, como o uso de máquinas vizinhas.

Os resultados alcançados indicam que apesar de conveniente, testar a escalabilidade de aplicações distribuídas em plataformas virtuais (nuvem pública ou privada) pode levar a interpretações incorretas ou imprecisas a respeito da escalabilidade de alguns tipos de aplicações distribuídas.

Um esforço adicional é necessário em trabalhos futuros para generalizar ou expandir os resultados para outras plataformas de nuvens públicas e privadas.

Referências

ABRAMSON, D. et al. Intel Virtualization Technology for Directed I/O. *White Paper, Intel*: <https://www-ssl.intel.com/content/dam/www/public/us/en/documents/product-specifications/vt-directed-io-spec.pdf>, n. 3, 2014.

- AMD. AMD I/O Virtualization Technology (IOMMU) Specification. *White Paper, AMD: <http://developer.amd.com/wordpress/media/2012/10/488821.pdf>*, v. 2.00, 2011.
- BAILEY, D. H. et al. The nas parallel benchmarks. *International Journal of High Performance Computing Applications*, SAGE Publications, v. 5, n. 3, p. 63–73, 1991.
- BAKSHAYESHI, R.; AKBARI, M. K.; JAVAN, M. S. Performance Analysis of Virtualized Environments Using HPC Challenge Benchmark Suite and Analytic Hierarchy Process. In: *Intelligent Systems (ICIS), 2014 Iranian Conference on*. Higher Education Complex of Bam, Highway Persian Gulf, Bam, Iran: [s.n.], 2014. p. 1–6.
- BARKER, S. K.; SHENOY, P. Empirical Evaluation of Latency-sensitive Application Performance in the Cloud. In: *Proceedings of the First Annual ACM SIGMM Conference on Multimedia Systems*. New York, NY, USA: ACM, 2010. p. 35–46.
- EXPÓSITO, R. R. et al. Performance analysis of hpc applications in the cloud. *Future Generation Computer Systems*, Elsevier, v. 29, n. 1, p. 218–229, 2013.
- FERREIRA, C. H. et al. Identificação de Gargalos de Desempenho em Ambientes Virtuais para uso em Computação em Nuvem. *XIII Workshop em Desempenho de Sistemas Computacionais e de Comunicação*, Brasília - DF, Brasil, p. 1 – 14, 2014.
- HILL, Z. et al. Early Observations on the Performance of Windows Azure. In: *Proceedings of the 19th ACM International Symposium on High Performance Distributed Computing*. New York, NY, USA: ACM, 2010. (HPDC '10), p. 367–376.
- HUBER, N. et al. Evaluating and modeling virtualization performance overhead for cloud environments. In: *CLOSER*. [S.l.: s.n.], 2011. p. 563–573.
- MEI, Y. et al. Performance Analysis of Network I/O Workloads in Virtualized Data Centers. *Services Computing, IEEE Transactions on*, IEEE Transactions on Services Computing, p. 48–63, 2013.
- OLIVEIRA, T. B. de; COSTA, F. M.; RODRIGUES, V. J. S. Definição de Planos de Execução Distribuídos para Consultas de Junção Espacial usando Histogramas Multidimensionais. In: *Proc. of XXX SBBD*. Petrópolis: [s.n.], 2015. p. 89–100.
- OLIVEIRA, T. B. de et al. Avaliação Comparativa de Escalabilidade de Aplicações de Alto Desempenho em Cluster Físico e na Nuvem. In: *Anais do WPerformance - CSBC 2015*. Recife: [s.n.], 2015. p. 1–12.
- SIVATHANU, S.; DONG, X. Performance analysis of network i/o workloads in virtualized data centers. *IEEE Transactions on Services Computing*, p. 48–63, 2013.
- TUDORAN, R. et al. A Performance Evaluation of Azure and Nimbus Clouds for Scientific Applications. In: *Proceedings of the 2Nd International Workshop on Cloud Computing Platforms*. New York, NY, USA: ACM, 2012. p. 4:1–4:6.
- WALTERS, J. P. et al. A comparison of virtualization technologies for hpc. In: *IEEE. 22nd International Conference on Advanced Information Networking and Applications (aina 2008)*. [S.l.], 2008. p. 861–868.
- YOUNGE, A. J. et al. Analysis of virtualization technologies for high performance computing environments. In: *IEEE. Cloud Computing (CLOUD), 2011 IEEE International Conference on*. [S.l.], 2011. p. 9–16.