

eScience-as-a-Service: Desafios e Oportunidades para a Criação de Nuvens Científicas

Rostand Costa^{1,2}, Francisco Vilar Brasileiro²,
Guido Lemos de Souza Filho¹, Dênio Mariz Sousa¹

¹ Laboratório de Aplicações em Vídeo Digital – LAVID
Universidade Federal da Paraíba (UFPB) - João Pessoa, PB – Brasil

² Laboratório de Sistemas Distribuídos – LSD
Universidade Federal de Campina Grande (UFCG) - Campina Grande, PB - Brasil

rostand@lavid.ufpb.br, fubica@dsc.ufcg.edu.br,
{guido, denio}@lavid.ufpb.br

Abstract. *The cloud computing approach is based on the provision of computing resources through higher levels of abstraction. The results of some pioneering initiatives indicate that the possibility of dynamic provisioning of computing infrastructure has many advantages for e-science, but its effective use and control by the researcher still presents some challenges. This paper examines some of these challenges and points out ways for effective provision of infrastructure for e-science in the form a service. Among them, special attention is given to the creation of different layers of abstractions atop the underlying infrastructure that really meet the specific requirements of scientific computing and construction of experimental scientific clouds as a catalyst in the cultural adaptation and understanding about the potential of the clouds for e-science.*

Resumo. *A abordagem de computação na nuvem (cloud computing) baseia-se na oferta de recursos computacionais através de níveis de abstração mais altos. Os resultados de algumas iniciativas pioneiras indicam que a possibilidade de provisionamento dinâmico da infraestrutura computacional tem inúmeras vantagens para e-science, mas a sua efetiva utilização e controle por parte do pesquisador ainda apresenta alguns desafios. Este trabalho analisa alguns desses desafios e aponta caminhos para a efetiva oferta de infraestrutura para e-science na forma de um serviço. Dentre eles, atenção especial é dada à criação de diferentes abstrações sobre a camada de infraestrutura que realmente atendam aos requisitos específicos de computação científica e a construção de nuvens científicas experimentais como um catalisador do acultramento e entendimento sobre o potencial das nuvens para e-science.*

1. Introdução

É reconhecido que muitos dos avanços recentes em pesquisas científicas somente foram possíveis devido à habilidade dos cientistas em usar eficientemente computadores para gerar e processar grandes quantidades de dados.

Ao traduzir infraestrutura de Tecnologia da Informação (TI) em serviços elásticos e ilimitados, utilizados sob demanda e pagos de acordo com a quantidade de serviço consumida, o paradigma de computação na nuvem (do inglês *cloud computing*) oferece inúmeras possibilidades novas para o planejamento de capacidade das instituições que utilizam TI de forma intensiva. A comunidade científica não está indiferente a este fenômeno e inúmeras iniciativas em todo o mundo já investigam a aplicabilidade do novo ambiente para computação científica (*e-science*) [Evangelinos 2008][Juve 2009][Keahey 2010][Oliveira 2011][Osterman 2008][Walker 2008].

Os resultados preliminares indicam que embora sejam ambientes muito flexíveis e simples de se configurar, ativar *e-science* nas nuvens não é tão automático, considerando-se as implementações disponíveis, e a sua efetiva utilização e controle por parte do pesquisador ainda apresenta alguns desafios [Lee 2010]. Dentro desta perspectiva, é possível encontrar algumas situações peculiares e, até mesmo, conflitantes na migração de *e-science* para nuvens.

As principais dificuldades de endereçamento das necessidades da comunidade científica residem principalmente no fato de que as propriedades mais atrativas do paradigma de *cloud computing* para o contexto acadêmico: conveniência e facilidade de uso, ampla elasticidade e níveis adequados de abstração, ainda não são plenamente endereçados pelo estado-da-prática do segmento.

Este trabalho analisa alguns desses obstáculos e aponta caminhos para a efetiva oferta de infraestrutura para *e-science* na forma de serviço. Dentre eles, o provisionamento de nuvens usando recursos amortizados ou não convencionais, a criação de camadas de abstração sobre *infrastructure-as-a-service (IaaS)* que realmente atendam aos requisitos específicos de computação científica e a construção de nuvens científicas experimentais como um catalisador do aculturação e entendimento sobre o potencial das nuvens para *e-science*.

O restante do documento está organizado como segue. A Seção 2 analisa a limitação na alocação de recursos imposta pelos provedores de nuvens atuais. A Seção 3 discute alguns dos desafios culturais e de usabilidade para fazer *e-science* em nuvens. São discutidos algumas ações e caminhos que possam conduzir à oferta de nuvens específicas para *e-science* na Seção 4. A Seção 5 contém as nossas considerações finais.

2. Melhorias na Amplitude da Elasticidade

A abordagem de computação na nuvem baseia-se na oferta de recursos computacionais através de altos níveis de abstração e na forma de serviços que os clientes adquirem sob demanda e pagam apenas pela quantidade de recursos que realmente consomem. Isso dá aos clientes a possibilidade de aumentar e diminuir a capacidade da sua infraestrutura à vontade, sem incorrer em um custo adicional. A elasticidade ilimitada teórica que é associada aos serviços oferecidos por provedores de *clouds* deveria, potencialmente, permitir aos usuários decidir livremente se desejam usar 1 recurso computacional (ex. uma máquina virtual com uma determinada configuração) por 1.000 horas ou 1.000 recursos por 1 hora e pagar o mesmo preço em ambos os casos. Essa propriedade singular de computação na nuvem é chamada de *associatividade de custos* [Fox 2011].

Tal capacidade de instanciar concomitantemente um grande número de recursos por um período de tempo relativamente curto é um requisito fundamental para um modelo de programação de aplicações paralelas chamado computação de alta vazão (HTC, do inglês *High-Throughput Computing*) [Litzkow 1988]. Essas aplicações têm cargas de trabalho altamente paralelizáveis e quanto mais cedo a sua execução possa ser concluída, melhor. Assim, idealmente, elas poderiam ser executadas simultaneamente pela totalidade dos recursos necessários para terminar o mais rapidamente possível e, ainda, com um custo que só dependeria da carga de trabalho que tiver sido realmente processada. Desta forma, muitas aplicações HTC, científicas ou comerciais, poderiam potencialmente obter um enorme benefício a partir da elasticidade dos fornecedores de computação na nuvem.

Infelizmente, os provedores públicos atuais de IaaS precisam limitar o número máximo de instâncias que podem ser adquiridas simultaneamente por um dado cliente e permitem somente que poucas máquinas virtuais sejam instanciadas automaticamente. Por exemplo, o serviço EC2 da Amazon Web Services (aws.amazon.com) um dos mais

importantes provedores de IaaS em operação, permite que apenas 20 instâncias possam ser iniciadas concomitantemente pelo mesmo cliente. Para alocar grandes quantidades é necessária uma negociação paralela. Embora, na prática, este limite possa ser visto como praticamente “infinito” pela maioria das aplicações, isso não é o caso para muitas aplicações HTC e, possivelmente, para outras classes de aplicações.

Dentre as razões pelas quais os provedores tradicionais necessitam impor um limite na elasticidade, a principal é que quanto maior é o limite, maior é a capacidade da infraestrutura que os provedores precisam manter e, considerando uma taxa fixa de ociosidade, menor será a sua rentabilidade [Costa 2011]. Assim, os provedores públicos atuais de IaaS precisam limitar a quantidade de recursos para que possam garantir uma disponibilidade suficientemente elevada para seus serviços e, ao mesmo tempo, manter os seus lucros em um nível aceitável.

Como já existem serviços de alta demanda hospedados em provedores de IaaS públicos e privados (ex. Gmail, Twitter, Bing etc.) e também a possibilidade de se negociar alocações superiores com provedores públicos, é possível inferir que o limite serve como um regulador do uso intensivo de recursos por períodos curtos, ou seja, o alvo do limite não é o volume da requisição em si, mas o exercício extremo da elasticidade através de grandes alocações com liberações logo em seguida [Costa 2011]. Desta forma, não é fácil atingir computação de vazão extremamente alta nelas, considerando as implementações disponíveis. Em particular, nenhum dos provedores de IaaS atuais é capaz de aceitar a instanciação de um sistema com milhares de máquinas virtuais pelo curto período de tempo requerido para executar uma aplicação HTC típica.

Lidar com as demandas por escalabilidade extremamente alta de aplicações HTC ou mesmo com *flash crowds* [Jung 2002], quando um grande número de usuários acessa simultaneamente um sítio Web que adquire uma popularidade instantânea, não é uma tarefa trivial. Proporcionar tal nível de flexibilidade traz desafios enormes para o planejamento de capacidade que precisa ser realizado pelos provedores de IaaS. Para dar suporte a este tipo de utilização, esses provedores provavelmente teriam que enfrentar níveis de ociosidade de suas estruturas maiores do que os que são observados hoje, com forte impacto em sua lucratividade. O resultado desta limitação é que existe uma faixa inteira de aplicações que ainda não está sendo bem atendida pelos serviços oferecidos atualmente pelos provedores de computação na nuvem.

3. Abstração, Controle e Outros Desafios

Em uma classificação bastante ampla, notadamente quando se considera as diferenças entre as características das cargas de trabalho (*workload*), a computação científica é normalmente dividida em Computação de Alta Performance (HPC, do inglês *High Performance Computing*) e Computação de Alta Vazão (HTC). Entretanto, há algumas premissas relevantes que trafegam entre estas categorizações de forma transversal, dentre elas a busca pelo equilíbrio na relação entre controle e abstração. Tanto em HPC quanto em HTC, a simplicidade e facilidade proporcionada para os usuários por cada camada de abstração adicionada precisam ser permanentemente equilibradas com o atendimento dos requisitos de desempenho das aplicações, o que implica na necessidade de um maior controle sobre a infraestrutura computacional [Lee 2010]. Dentro dessa perspectiva, é possível encontrar algumas situações peculiares e, até mesmo, conflitantes na migração de *e-science* para nuvens.

Em ambientes de computação em grade (*grid computing*), por exemplo, a heterogeneidade dos recursos disponíveis requer o gerenciamento da compatibilidade entre sistemas operacionais, bibliotecas, executáveis e parâmetros do ambiente para a distribuição

de aplicações enquanto que um gerenciamento de configuração similar é muito mais facilitado na abordagem *infrastructure-as-a-service*. Em *IaaS*, o uso de imagens de máquinas virtuais permite empacotar conjuntamente tanto a aplicação quanto a configuração exata do ambiente necessário para a sua execução. Por outro lado, os *middleware* de *grids* normalmente são sensíveis ao contexto das aplicações científicas e oferecem inúmeras facilidades para a submissão e controle de tarefas, enquanto que boa parte do trabalho de configuração, instanciação e encerramento das instâncias de máquinas virtuais em *IaaS* deve ser feita pelo próprio usuário. Além de *grids*, vários outros modelos de execução proporcionam abstrações que facilitam o uso das infraestruturas computacionais para finalidades científicas, como *workflows*, paradigmas de programação (ex. *dataflow*, *map-reduce*, *data streaming*, *parameter sweep*), dentre outras. Estes modelos possuem *frameworks* que os tornam amigáveis e eficientes e que podem ser adaptados para ambientes de computação na nuvem, tornando-os mais adequados para computação científica. Entretanto, até o momento, poucos desses modelos possuem implementações comerciais para computação na nuvem, como o *Hadoop* (<http://hadoop.apache.org>) para o *Map-Reduce* (<http://http://labs.google.com/papers/mapreduce.html>). Coincidentemente, boa parte dos relatos atuais de experiências reais de *e-science* em nuvens estão relacionadas com o uso do *Hadoop* ou do modelo de programação *Map-Reduce* [Simalango 2010]. Outras iniciativas mais recentes como as plataformas Azure Blast [Lu 2010], de bioinformática, e Cirrus [Lu 2010], voltada para *parameter sweep*, ratificam a diversidade e singularidade dos modelos de programação necessários.

Há ainda os obstáculos relacionados com o modelo global corrente de financiamento de projetos de pesquisa que, salvo raras exceções, não contempla a contratação em provedores privados da infraestrutura computacional necessária para a realização de experimentos. Principalmente quando esta contratação envolve a transferência de recursos financeiros para outros países e continentes. Até mesmo aspectos culturais da execução de pesquisas são impactados pela novidade da valoração monetária de cada experimento ou simulação realizada - ela se torna indiretamente evidente em um contexto *pay-as-you-go* onde cada sessão de uso é bilhetada e faturada. Estamos preparados para uma investigação empírica de resultados? Quanto vale uma refutação de hipótese?

Além disso, os atuais serviços públicos de computação na nuvem foram concebidos tendo em vista o atendimento de requisitos bem específicos como, por exemplo, o suprimento de infraestrutura para pequenas e médias empresas e o suporte computacional para aplicações do estilo Web 2.0 fazendo com que alguns contextos, inclusive o de *e-science*, se ressentam de uma maior identificação com as suas reais necessidades.

4. A Necessidade de uma Agenda para *e-Science-as-a-Service* (*eSaaS*)

É fundamental evoluirmos o entendimento de como o paradigma de computação na nuvem pode ser aplicado na ciência e quais requisitos são relevantes para a construção de nuvens científicas (*e-science clouds*). As iniciativas e ações neste sentido podem ser consolidadas em uma agenda colaborativa que permita a evolução tanto do estado-da-arte quanto do estado-da-prática do segmento e conduza ao desenvolvimento de uma plataforma de computação na nuvem que seja plenamente adequada para *e-science*. Chamamos tal categoria de serviços especializados, abstraída na forma de modelos de negócio e modelos de programação próprios, de *e-Science-as-a-Service* (*eSaaS*).

4.1. Identificação e Disponibilização das Abstrações Adequadas

Já existem diversas alternativas de código aberto para suporte a *IaaS* como Eucalyptus (<http://open.eucalyptus.com>), Nimbus (<http://www.nimbusproject.org>), OpenNebula (<http://www.opennebula.org>) e OpenStack (<http://openstack.org>) que oferecem

funcionalidades básicas como suporte a virtualização, armazenamento distribuído de dados (*storage*) e o gerenciamento de filas assíncronas, dentre outros. Entretanto, são ainda necessários mecanismos adicionais para o seu uso mais eficiente em nuvens voltadas para o uso científico, incluindo o suporte a grupos de pesquisa, o controle de reputação e utilização de usuários e também facilidades para o intercâmbio de experiências e resultados.

Sobre a estrutura de IaaS convencional provida pelos *middleware open source* podem ser construídas camadas de abstração que facilitem o seu uso para *e-science*. Uma destas camadas pode ser composta por recursos que permitam, de forma automática, a instanciação coordenada e eficiente de múltiplas cópias de uma mesma máquina virtual. Outra camada pode ser voltada para a adição de funcionalidades, como as existentes em *grids*, de suporte à execução de grandes lotes de tarefas *bag-of-tasks* (BoT) [Cirne 2003]. Uma terceira camada pode envolver mecanismos para integração e uso mútuo de recursos entre nuvens científicas federadas e assim por diante.

Além disso, os modelos de programação comumente adotados em experimentos científicos precisam ser fatorados e incorporados às nuvens científicas como mecanismos de incremento da usabilidade e produtividade dos pesquisadores.

4.2. Construção de Nuvens Científicas Nacionais ou Voluntárias

Na nossa visão, a existência de nuvens nacionais especificamente voltadas para a ciência, mantidas e operadas por agências de fomento e órgãos federais, pode oferecer um suporte adequado e *top-down* para diversas classes de aplicações científicas, facilitando o ingresso das instituições acadêmicas no segmento de *cloud computing* e promovendo padronização, integração e otimização de investimentos. Neste momento de amadurecimento do nosso entendimento sobre as possibilidades de uso de computação na nuvem na ciência, uma plataforma aberta pode atuar como agente de disseminação e catalisador de uma evolução colaborativa no estabelecimento dos requisitos que *e-science clouds* devem atender.

Algumas iniciativas já começam a surgir buscando suprir estas lacunas através de nuvens mais temáticas e direcionadas. Como exemplo de abordagem *top-down*, o CIO do governo americano anunciou recentemente a formação de uma *National Cloud* para atender às necessidades das agências governamentais e racionalizar os investimentos governamentais na área [Lee 2010]. Em paralelo e de forma *bottom-up*, algumas instituições de pesquisa americanas também começam a montar as suas estruturas de nuvem privadas e discutir aspectos de interoperabilidade.

Em paralelo, a existência de condições permitindo que instituições acadêmicas possam criar e manter nuvens voluntárias de pequena escala oferecendo recursos computacionais no estilo IaaS para iniciação no uso científico tanto pelos seus membros quanto pela comunidade em geral pode atuar como um incentivo para que requisitos e especificidades reais possam ser identificados e endereçados. Os aspectos de padronização e interoperabilidade podem ser investigados através da federação destas nuvens voluntárias, permitindo uma abordagem alternativa (*bottom-up*) para a criação de nuvens científicas regionais ou nacionais. Mecanismos voltados a dar visibilidade à iniciativa podem ajudar a reunir e integrar uma comunidade de usuários e doadores.

4.3. Uso de Recursos Amortizados para Construção de Nuvens Públicas

A baixa amplitude da elasticidade dos provedores atuais de nuvens reflete um pequeno paradoxo. Enquanto da perspectiva do cliente, o modelo de computação na nuvem permite que este aplique aos seus investimentos em TI os mesmos princípios do *Toyota Production System* (TPS) [Toyota 2010]. Criada pela Toyota nos anos 50, a filosofia de sistema de produção “*Just in Time*” (*JiT*) é baseada em uma idéia muito simples: “*what is needed*,

when it is needed, and in the amount needed". Os provedores de IaaS, por sua vez, não possuem as mesmas facilidades quando estão montando a infraestrutura sobre as quais eles irão prover os seus serviços, tendo que lidar com a complexidade e riscos associados com o planejamento de capacidade de longa duração.

Para lidar com esta limitação, foi proposto o conceito de *Just in Time (JiT) Clouds* [Costa 2010], cujos prestadores apenas incorrem em custos de propriedade quando os recursos que eles usam para fornecer os seus serviços são demandados pelos seus clientes e apenas durante o período que eles são necessários. Isto alivia os riscos e custos do planejamento de capacidade envolvidos tanto com sub-provisionamento quanto com excesso de provisionamento de recursos. Para tal, provedores de *JiT Clouds* utilizam apenas o poder de processamento ocioso de recursos cujos custos de montagem e operação já foram amortizados pela finalidade principal do negócio que eles dão suporte.

Do ponto de vista da escala, os detentores de recursos computacionais amortizados podem ser classificados em duas categorias principais: a) os que possuem capacidade excedente suficiente para poderem atuar como provedores públicos de IaaS, oferecendo os seus recursos ociosos para terceiros, como fez a Amazon Bookstore (www.amazon.com), por exemplo, dando origem à Amazon Web Services; e b) os que não possuem, sozinhos, recursos amortizados ociosos suficientes para uma atuação solo.

A última categoria, que chamamos de recursos amortizados de pequena escala, envolve todo o espectro de escala imediatamente inferior ao nível esperado para a categoria a), incluindo desde as empresas de grande porte, passando por *data centers* de pequeno porte e chegando até servidores e recursos individuais, convencionais ou não convencionais, pertencentes a instituições ou a indivíduos. Explorando tais recursos amortizados, um fornecedor de *JiT Cloud* é capaz de oferecer IaaS de uma forma altamente escalável e com uma elasticidade muito mais ampla, uma vez que é baseada na descoberta, federação e revenda de recursos ociosos já amortizados por outras finalidades. Contando com modelos alternativos de provisionamento que permitam custos menores ou irrelevantes para a disponibilidade de recursos, os provedores de *JiT Clouds* podem proporcionar aos clientes com aplicações científicas em geral e HTC em particular os benefícios da associatividade de custos: o menor tempo de processamento possível por um mesmo custo.

4.4. Promoção do Impacto de Investimentos através da Convergência de Iniciativas

Alguns caminhos alternativos e complementares para prover recursos computacionais sob demanda para experimentos científicos também podem ser explorados. A elaboração simultânea de Planos Nacionais de Banda Larga (PNBL) por diversos países além do Brasil [Faria 2010] é uma afirmação mundial de que massificar o acesso adequado à Internet por meio de políticas públicas é insumo estratégico para o desenvolvimento, de modo a promover oportunidades, desconcentrar renda e incorporar os cidadãos e instituições hoje excluídos desse serviço, reduzindo assim as desigualdades sociais e regionais. Entretanto, esta iniciativa requer ações complementares para atingir uma inclusão digital concreta como, por exemplo, a viabilização de equipamentos para os cidadãos de baixa renda que lhe permitam um uso efetivo e autônomo dos canais de comunicação subsidiados.

Abordagens recentes, como a TV Conectada [InternetTV 2011] e a TV Social [Social Television 2011], indicam que os receptores de TV Digital interativos, dotados de poder de processamento e de comunicação, podem desempenhar um papel relevante neste cenário de convergência de mídias, conteúdos e serviços. Nesta direção, o Google TV (www.google.com/TV), o Ginga AppStore (www.lavid.ufpb.br), o Sticker Center (www.stickercenter.com.br) e outras iniciativas similares ampliam o escopo de atuação dos receptores interativos, os quais, com a possibilidade de execução de aplicações

independentemente do conteúdo televisivo, passam a atuar também como verdadeiros integradores de entretenimento, comunicação e interação digital.

No Brasil, a expectativa é que o Sistema Brasileiro de TV Digital (SBTVD) atinja um número total de 15 milhões de receptores digitais até o ano de 2012. Esta influência não pode ser ignorada e a utilização dos receptores interativos de TV Digital (TVD) como agentes complementares do Plano Nacional de Banda Larga pode realmente promover uma inclusão digital efetiva, notadamente nos segmentos mais carentes e desprovidos de outros equipamentos para acesso à Internet. Para tal, é necessário estabelecer os mecanismos adequados de incentivo para a sua adoção e proliferação, incluindo subsídios para os fabricantes e parcerias com a iniciativa privada. Nesse sentido, uma possibilidade é a utilização do poder de processamento e comunicação ociosos de receptores interativos de TVD para permitir o processamento de aplicações que demandam alto poder computacional.

Na esteira destes movimentos e visando o aproveitamento do poder computacional que este enorme contingente de receptores interativos representa, abrem-se novas oportunidades técnicas, principalmente com a possibilidade de uso destes equipamentos para resolver problemas de grande escala nas áreas da ciência, engenharia, medicina, física etc. Os principais atrativos desta idéia são a possibilidade de alocar uma enorme quantidade destes recursos não convencionais para o processamento distribuído de uma aplicação paralela em uma abordagem baseada em serviços e provisionamento dinâmico de recursos. Uma arquitetura para o uso de recursos não convencionais, notadamente os organizáveis sob demanda em redes de *broadcast*, para a construção de infraestruturas computacionais distribuídas foi proposta por Costa et al [Costa 2009] e teve os seus aspectos de segurança para o contexto de TVD discutidos por Maia et al [Maia 2010]. Infraestruturas similares também podem ser construídas sobre *smartphones*, PDAs e *tablets*.

Na nossa visão, este é um exemplo de cenário de sinergia entre governo, empresas, academia e sociedade organizada. Por exemplo, é possível integrar investimentos e benefícios governamentais em inclusão digital através do PNBL e receptores interativos de TVD com as demandas por recursos computacionais de várias classes de aplicações da comunidade científica. De forma similar, a iniciativa privada pode ser incentivada a fornecer receptores em comodato em troca da possibilidade de uso compartilhado destes recursos computacionais para as suas finalidades específicas. Finalmente, os cidadãos que adquirem os seus próprios receptores podem ser estimulados a ceder os seus equipamentos de forma voluntária e participar de esforços coletivos, científicos ou comunitários, com os quais se identifique.

5. Conclusão

Considerando um contexto onde possam convergir os três principais aspectos da onda tecnológica (“*perfect storm*”) que tem impactado a humanidade nos últimos anos [Hemsoth 2011]: o massivo uso de dispositivos móveis inteligentes, a conectividade ubíqua em alta velocidade e o paradigma de computação na nuvem, este trabalho aponta algumas iniciativas que endereçam os desafios ao uso de computação na nuvem pela comunidade científica: a) criação de camadas de abstração sobre IaaS que realmente atendam aos requisitos específicos de computação científica; b) criação de nuvens científicas nacionais ou voluntárias que permitam o amadurecimento do conhecimento do potencial do paradigma para *e-science*; c) ampliação da elasticidade de provedores de computação na nuvem através do uso de recursos amortizados e d) promoção da convergência e sinergia entre iniciativas e cenários, incluindo os não convencionais, que possam alavancar o escopo e a abrangência do uso de nuvens científicas.

Estas e outras ações podem ser consolidadas em uma agenda colaborativa na busca da oferta de serviços e modelos de programação adequados para a comunidade científica em uma abordagem efetiva de *e-Science-as-a-Service* (eSaaS).

Referências

- Cirne, W., Paranhos, D., Costa, L., Santos-Neto, E., Brasileiro F. et al. (2003) *Running Bag-of-Tasks Applications on Computational Grids: The MyGrid Approach*, Proc. of the ICCP'2003 - Int. Conference on Parallel Processing.
- Costa, R., Brasileiro, F., Lemos, G., and Mariz, D. (2009) *OddCI: on-demand distributed computing infrastructure*. In Proceedings of the 2nd Workshop on Many-Task Computing on Grids and Supercomputers (Portland, EUA). ACM MTAGS '09.
- Costa, R., Brasileiro, F., Lemos, G. and Mariz, D. (2010) *Just in Time Clouds: Enabling Highly-Elastic Public Clouds over Low Scale Amortized Resources*. Technical Report. Disponível em <http://www.lsd.ufcg.edu.br>.
- Costa, R., Brasileiro, F., Lemos, G., Mariz, D. (2011) *Sobre a Amplitude da Elasticidade dos Provedores Atuais de Computação na Nuvem*. In-press to SBRC 2011.
- Evangelinos, C., and Hill, C. (2008) *Cloud Computing for parallel Scientific HPC Applications: Feasibility of running Climate Models on Amazon's EC2*.
- Faria, F. (2010) *Visão & Tecnologia: A forma para tornar as nossas cidades mais inteligentes*. Em Conferência Internacional de Cidades Inovadoras.
- Fox, A. (2011) *Cloud Computing—What's in It for Me as a Scientist?*. In Science Vol. 331 no. 6016 pp. 406-407.
- Hemsoth, K. (2011) *IEEE Declares War on Cloud Computing Challenges*, <http://www.hpcinthecloud.com/features/IEEE-Declares-War-on-Cloud-Computing-Challenges-119208959.html>
- Internet Television (2011) Disponível em http://en.wikipedia.org/wiki/Internet_television.
- Juve, G. et. al. (2009) *Scientific Workflow Applications on Amazon EC2*. In 5th IEEE International Conference on e-Science.
- Keahey, K. (2010) *Another Barrier Goes Down*, <http://scienceclouds.org/blog/>
- Lee, C. A. (2010) *A Perspective on Scientific Cloud Computing*. In Proc. of the 19th ACM International Symposium on High Performance Distributed Computing, 451-459.
- Litzkow, M., Livny, M. and Mutka, M. (1988) *Condor - a hunter of idle workstations*. In: Proc. 8th Int'l Conf. Distributed Computing Systems. 1988.
- Lu, W., Jackson, J., Ekanayake, J., Barga, R.S., Araujo, N. (2010) *Performing Large Science Experiments on Azure: Pitfalls and Solutions*. In CloudCom(2010) 209-217.
- Maia, G., Costa, R., Lemos, G., Mariz, D., Brasileiro, F. (2010) *Um Modelo de Segurança para Infraestruturas Computacionais Distribuídas Baseadas em Receptores de TV Digital*. II Workshop de TV Digital Interativa/WebMedia 2010. Belo Horizonte MG
- Oliveira, D., Baião, F. and Mattoso, M. (2011) *Migração de Experimentos Científicos para a Nuvem*. SBC Horizontes, abril 2011.
- Ostermann, S., Iosup, A., Yigitbasi, N. et al. (2008) *An Early Performance Analysis of Cloud Computing Services for Scientific Computing*. 2008:1-24.
- Social Television (2011) Disponível em http://en.wikipedia.org/wiki/Social_television.
- Simalango, M., and Sangyoon O. (2010) *Handbook of Cloud Computing*. In Compute, edited by Borko Furht and Armando Escalante, 535-551. Boston, MA: Springer US.
- Toyota (2010). *Just in Time - Toyota Production System (TPS)*. Disponível em http://www2.toyota.co.jp/en/vision/production_system/just.html.
- Walker, E. (2008) *Benchmarking Amazon EC2 for high-performance scientific computing*. LogIn, vol 33 no. 5, Usenix.