

CTC – Arquitetura para Testbed Universitária

Thales Nicolai Tavares¹, Alexandre Silva Rodrigues¹, Bolivar Menezes da Silva¹

¹Redes de Computadores – Universidade Federal de Santa Maria (UFSM)

{tavares,alexandre,bolivar}@redes.ufsm.br

Abstract. *The need of large-scale computing research have stimulating the creation of testbeds. At the same time, computing resources virtualization through cloud computing have been showing itself as a very attractive tool for institutions, by providing savings, good performance and better availability of services. However, access to these technologies is not well diffused in public education institutions. So, this works proposes an architecture of computing that integrates cloud computing and testbeds inside universities, the Campus Test Cloud.*

Resumo. *A necessidade de realização de pesquisas de computação em larga escala vem estimulando a criação de redes de experimentação. Ao mesmo tempo, a virtualização de recursos computacionais através das clouds vem se demonstrando uma ferramenta muito atraente para as instituições, por prover economia, bom desempenho e melhor disponibilidade dos serviços. Contudo, o acesso a ambas as tecnologias ainda não é bem difundido nas instituições públicas de ensino. Assim, este trabalho propõe uma arquitetura de computação que integra cloud computing e testbeds dentro das universidades, a Campus Test Cloud.*

1. Introdução

A Internet cresceu muito nas três últimas décadas, e tem sido bem-sucedida em lidar com aplicações distribuídas. Contudo, apesar do crescimento, a Internet ainda se utiliza da mesma arquitetura inicial, sofrendo com as limitações do modelo TCP/IP. Ainda, a sua disseminação e popularidade acabam por ser outro fator limitante para a continuidade de sua expansão, uma vez que a adoção de novos padrões de funcionamento deve atender a diversos interesses [Mijumbi, Rashid, et al. 2016]. Desta forma, muitos autores acreditam que uma solução para este impasse seria um redesenho da atual arquitetura da Internet [Berman, M. et al. 2014].

No intuito de viabilizar pesquisas de novos protocolos e tecnologias que permitam o avanço da rede mundial, surgiram as redes de experimentação, também conhecidas como *testbeds*. Estas redes consistem de um ambiente de computação onde é possível executar testes em larga escala e desenvolver novos protocolos e/ou novos serviços em Redes de Computadores, embora seu uso não esteja limitado a esta área. Pode-se também efetuar simulações e testes de sistemas paralelo-distribuídos, bancos de dados, dentre outros. Graças aos avanços de novas tecnologias de Redes Definidas por *Software* (SDN) e

virtualização de redes, as *testbeds* podem ser virtualizadas, operando em conjunto com uma rede de produção, reduzindo custos. Portanto, virtualização pode acelerar o desenvolvimento de novos conceitos em redes de computadores [Blenk *et al.* 2015].

Embora recente na área de rede de computadores, virtualização já é conhecida em outras áreas da computação [Blenk *et al.* 2015]. Os controladores responsáveis pela virtualização (*hypervisors*), se originaram no intuito de prover Máquinas Virtuais, fornecendo fatias de recursos computacionais para cada máquina virtualizada, que possui seu próprio sistema operacional. Um modelo de computação em particular, faz uso intensivo de *hypervisors*: trata-se de *cloud computing*. Esta tecnologia vem se difundindo muito recentemente, pois através dela, recursos computacionais podem ser alocados sob demanda e de forma flexível, de forma a reduzir custos de operação e maximizar o aproveitamento de uso de *hardware*.

Porém, mesmo com o crescimento destas tecnologias, grupos individuais de pesquisa em universidades públicas muitas vezes carecem de recursos computacionais para o desenvolvimento de seus projetos. Assim, este trabalho tem como objetivo propor uma arquitetura modelo para ser implantado em *campi* de universidades, de forma a potencializar a realização de testes e pesquisas.

O trabalho está organizado de forma que a seção 2 apresenta um background com os principais conceitos dos assuntos abordados na pesquisa; Na seção 3 apresentamos a arquitetura proposta para este trabalho; A seção 4 apresenta pesquisas existentes na área; A seção 5 apresenta as considerações finais.

2. Background

Nesta seção tem como objetivo apresentar uma breve revisão dos conceitos de *Cloud Computing* (2.1), Redes Definidas por *Software* (2.2) e Redes de Experimentação (2.3), a fim de auxiliar no entendimento do presente trabalho.

2.1 Cloud Computing

Cloud computing é um modelo de serviços em computação que permite acesso conveniente e sob demanda a recursos computacionais compartilhados, como rede, servidores, armazenamento, aplicações e serviços [Gangwar *et al.* 2015]. As nuvens (*clouds*) podem ser classificadas quanto ao modelo de serviços que são oferecidos: Infraestrutura como Serviço, Plataforma como Serviço e *Software* como Serviço, em inglês, IaaS, PaaS e SaaS, respectivamente. *Clouds* podem ainda ser classificadas em públicas, privadas ou híbridas.

A primeira modalidade, nuvens públicas, são aquelas onde a infraestrutura física é compartilhada por entre diversos usuários externos à organização que fornece o serviço de nuvem. Tipicamente os serviços fornecidos são contratados e pagos, e os fornecedores são grandes empresas de TI. Exemplos desta modalidade de serviço são a *Amazon EC2* e *Windows Azure*. Como ponto positivo, pode-se citar o fato de que normalmente os serviços ofertados possuem um preço atraente. Porém, por se tratar de um serviço público, ainda se questiona a real segurança e privacidade dos usuários neste tipo de ambiente.

Já as nuvens privadas são aquelas onde o acesso é restrito à própria empresa dona

da infraestrutura física. Assim, não existe a locação de recursos de terceiros, a própria organização é dona da arquitetura *cloud*. O ponto negativo que permeia esta modalidade é que o proprietário da nuvem privada necessita arcar com todos os custos relacionados à sua construção e manutenção, o que envolve gastos com equipamentos e também com pessoal treinado.

Porém, apesar dos custos com equipamentos, nuvens privadas possuem aspectos positivos, os quais podem torná-las vantajosas para as corporações. O primeiro e mais notório é a possibilidade de virtualização e centralização das estações de trabalho dos usuários de uma organização através da nuvem. Assim, obtém-se melhor disponibilidade dos serviços, melhor aproveitamento de recursos computacionais e até mesmo, economia de energia [SAKASHITA, Yukinori et al 2016]. O segundo deve-se ao fato de que neste modelo, existe ainda a expectativa de maior privacidade dos dados e maior controle sobre os recursos, comparando-se com o modelo público, mesmo que estes recursos sejam compartilhados entre os usuários da companhia.

Por fim, existem as nuvens híbridas, que combinam características de ambas as modalidades privadas e públicas. Nesta categoria, costuma-se dispor de uma arquitetura pertencente a uma organização, a qual faz uso de sua própria infraestrutura *cloud*, mas uma parte dos recursos é disponibilizada a terceiros.

2.2 Redes Definidas por Software

No intuito de prover programação da rede em tempo real, a iniciativa que mais se destaca é a interface/protocolo *OpenFlow* [McKeown et al. 2008]. Este protocolo define uma interface de programação dos elementos comutadores, permitindo que as tabelas de encaminhamento dos dispositivos sejam controladas por aplicações, que executam em um nível superior à rede [Kreutz, Diego, et al. 2015]. Isto constitui um novo paradigma em redes de computadores, conhecido como Redes Definidas por Software, do inglês, *Software Defined Networks* (SDN). Em SDN, o controle da rede é logicamente centralizado em uma entidade conhecida como controlador, separado dos elementos comutadores. Desta forma, o controlador estabelece regras de encaminhamento de dados, as quais são enviadas pelo OF aos dispositivos.

Kreutz, Diego, et al. (2015) afirmam que SDN constituem um universo muito maior do que apenas o que é encontrado no padrão *OpenFlow* em si. Através do uso destas tecnologias, juntamente com controladores especializados, conhecidos como *hypervisors*, pode-se obter a virtualização da topologia física de rede. A primeira solução de virtualização de redes foi a segmentação dos recursos físicos através do *FlowVisor* [Kreutz, Diego, et al. 2015 apud Sherwood et al. 2009]. Esta ferramenta permite que diversas redes virtuais (*slices*) coexistam sobre o mesmo substrato físico, de forma que o tráfego de um *slice* não interfira nos demais. Esta funcionalidade tem muito a agregar para redes de experimentação, pois desta forma, diversos experimentos podem ocorrer simultaneamente sobre a mesma infraestrutura física, sem que o tráfego de um determinado experimento afete os demais.

2.3 Redes de Experimentação

Redes de Experimentação, ou *testbeds* consistem de estruturas de rede e computacionais a fim de disponibilizar recursos para a realização de testes e simulações, obtendo-se resultados mais precisos do que seria obtido através de simuladores. As *testbeds* podem ser potencializadas através de dois pontos: utilização de redes programáveis e tecnologias de virtualização de redes.

2.3.1 GENI

GENI (*Global Environment for Network Innovation*) é uma rede de experimentação norte-americana que visa o desenvolvimento, distribuição e validação em escala real de novos conceitos em redes de computadores [Berman *et al.* 2014]. Segundo os autores, a principal motivação para o projeto é a “Ossificação” da Internet, fenômeno causado pela criticidade e complexidade da infraestrutura da Rede, bem como pelos interesses de grandes corporações. Esta *testbed* é composta por diversos *GENI-enabled campuses*, ou *campi* GENI, os quais hospedam alguns componentes, dentre os quais: nós de computação e armazenamento virtualizados, redes virtualizadas e programáveis através de SDNs e redes de comunicação celular virtualizadas, chamadas de WiMAX.

O GENI possui diversos *Control Framework*, que são *frameworks* de controle e gerenciamento, podendo-se citar como exemplos o ProtoGENI, ORCABEN, ORBIT *Management Framework* e *PlanetLab*, dentre outros. Cada *framework* está associado a um *cluster* – grupos de organizações que trabalham no desenvolvimento de tecnologias candidatas a serem incorporadas ao projeto GENI, ainda sendo possível que um *cluster* possua mais de um *framework* operando concomitantemente.

No GENI, cada experimento ocorre isolado dos demais, através da criação de fatias (*slices*). Cada fatia contém recursos de rede (SDN) e computação virtualizados, reservados e distribuídos entre diversas localizações. A presente implementação de virtualização em SDN é feita através de recursos disponibilizados pelo *OpenFlow* [Berman *et al.*, 2014].

2.3.2 OFELIA

O OFELIA (*OpenFlow in Europe: Linking Infrastructure and Applications*) é uma *testbed* baseada em *OpenFlow*, sendo uma iniciativa da *European Union 7th Framework Programme* – FP7. Segundo Suñé *et al.* (2014), o objetivo inicial era construir uma *testbed* europeia, composta de *testbeds* individuais instaladas por parceiros, baseada em uma infraestrutura em comum, de Camada 2. Cada uma destas *testbeds* individuais são chamadas de ilhas. O OFELIA é composto de um total de 8 ilhas conectadas entre si via VPN ou GÉANT, e os *hosts* finais são virtualizados e disponibilizados de forma semelhante ao modelo “Infraestrutura como Serviço” de *cloud computing*.

Para isolamento do tráfego entre os experimentos, o OFELIA faz uso da divisão da rede em *slices*, através do uso do *hypervisor FlowVisor*. Isto permite que várias redes virtuais coexistam sobre a mesma infraestrutura física, o que é conhecido como redes em sobreposição. Cada *slice* criado no OFELIA através do *FlowVisor* possui o seu próprio controlador *OpenFlow* e suas próprias regras de encaminhamento, definidas pelo seu usuário/pesquisador. Para permitir que os usuários se registrem na *testbed*, criem, configurem, executem e gerenciem seus experimentos, faz-se uso do *OFELIA Control Framework*.

2.3.3 FIBRE

FIBRE (*Future Internet testbeds/experimentation between Brazil and Europe*) é uma rede de experimentação criada em 2011, com o intuito de promover pesquisas em Internet do futuro no Brasil [Salmito *et al.* 2014]. Sua arquitetura é composta de dez “ilhas” no Brasil e outras três na Europa. Conforme Ciuffo *et al.* (2016), cada ilha possui um núcleo de *switches OpenFlow* e um conjunto de servidores de virtualização, utilizados para processamento e armazenamento. Em algumas ilhas, existem também nós sem fios virtuais. A interligação das ilhas é feita através da FIBREnet, que se utiliza da Rede Nacional de Pesquisa (RNP) no Brasil. Atualmente, mais quatro instituições de pesquisa estão sendo adicionados a testbed: UFES, UFRGS, UFU, UFMG.

Na FIBRE também ocorre a multiplexação dos recursos físicos para prover recursos virtuais gerenciáveis. Nesta rede, faz-se uso do *FlowVisor* para a criação de *slices* de experimentação, virtualizando-se nós de processamento, dispositivos de rede e enlaces. Com relação às redes sem fio, usa-se escalonamento de canais para compartilhamento deste recurso. A *testbed* em questão possui três CFMs, customizados para a necessidade do projeto: OCF, *ORBIT Management Framework* (OMF) e ProtoGENI, proporcionando orquestração de três classes de serviços: recursos em geral, recursos *wireless* e recursos emulados [Salmito *et al.* 2014].

3. Proposta CTC

Com base no que foi abordado até o presente momento, é apresentada a arquitetura *Campus Test Cloud* (CTC). Trata-se de uma arquitetura de rede experimentação que agrega conceitos de *cloud computing*, buscando mitigar as dificuldades encontradas por pesquisadores na área de tecnologia em obter recursos computacionais para a execução de seus projetos.

O principal objetivo da arquitetura CTC é prover uma rede de experimentação, fomentando a pesquisa, juntamente com a rede de produção da instituição, de forma a maximizar o aproveitamento de *hardware* e consumo de energia. A arquitetura pode ser vista como uma nuvem universitária, distribuída entre diversos centros de ensino, com infraestrutura de rede baseada em SDN (*OpenFlow*). Esta nuvem provê serviços de terminal para os usuários da instituição e recursos virtuais de computação e de redes para a execução de experimentos de pesquisa.

As principais vantagens em se empregar esta arquitetura consistem em: 1) aproximação dos pesquisadores às tecnologias de *testbeds*, fomentando o desenvolvimento de pesquisas acadêmicas; 2) gerenciamento centralizado; 3) melhor disponibilidade de serviços e 4) economia de energia, graças ao melhor aproveitamento de recursos de *hardware*.

A figura 1 apresenta a organização geral do modelo proposto. A arquitetura é composta de três principais componentes: Centro de Processamento de Dados (CPD), Núcleos Prediais e Clientes de Terminal, que serão apresentados a seguir.

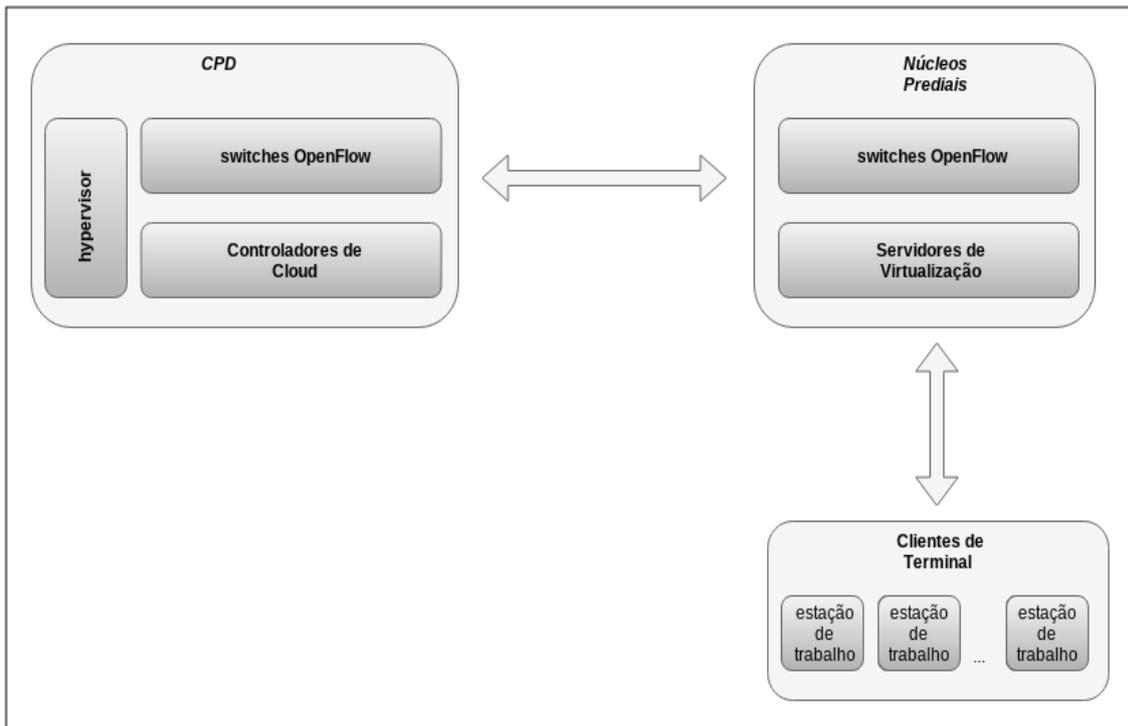


Figura 1. Arquitetura da Campus Test Cloud

3.1 Centro de Processamento de Dados

O Centro de Processamento de Dados tem um papel fundamental na arquitetura CTC. Nele, encontram-se *switches OpenFlow*, responsáveis por comutar o tráfego de ambas as redes de experimentação e de produção. Ambos os tipos de tráfego podem coexistir simultaneamente dentro da mesma infraestrutura física, graças ao “fatiamento” dos recursos de rede, que é provido pelo *hypervisor* de rede *FlowVisor* (FV). Desta forma, existe um servidor dedicado à execução deste controlador SDN especializado. Cada *slice* criado pelo FV possui seu próprio controlador SDN dedicado em execução.

O CPD possui ainda outros dois componentes: os *Controladores de Cloud* e os servidores de virtualização. Os *Controladores de Cloud* são responsáveis por orquestrar a utilização dos recursos de *cloud computing*, distribuídos entre o campus. Os servidores virtualização provêm recursos virtualizados para a rede de experimentação e a execução de máquinas virtuais para a nuvem privada.

A alocação de recursos para experimentação se dá através de um *framework* de gerenciamento e controle, serviço também fornecido pelo CPD. Através dele, um usuário pode criar um experimento dentro da *testbed* universitária, alocar recursos e executá-lo, de forma similar à encontrada nas grandes *testbeds*. O experimento receberá uma fatia de recursos virtualizados e distribuídos através de todo o campus, de forma a não interferir no tráfego de produção da instituição. A instituição de ensino pode optar por adaptar, *frameworks* já existentes, como o ProtoGENI ou por criar seu próprio *framework* de controle.

3.2 Núcleos Prediais

Os Núcleos Prediais (NPs) podem ser vistos como CPDs menores, ou como “ilhas”, localizados em cada prédio da instituição. Suas principais funções são: 1) disponibilizar recursos computacionais e de rede para a *testbed* e 2) virtualizar as estações de trabalho e prover serviços com baixa latência aos usuários de terminal. Eles são compostos de ao menos um *switch OpenFlow* e um servidor de virtualização.

Os NP são ligados ao CPD através de um *backbone* redundante de fibra óptica, pelo qual trafegam dados de produção e de experimentação. Os *switches OpenFlow* de cada NP são pertencentes à infraestrutura SDN como um todo, sendo assim gerenciados pelos controladores existentes no CPD.

Os servidores de virtualização existentes em cada NP são responsáveis por virtualizar as estações de trabalho dos usuários e prover recursos computacionais para a *testbed*. A virtualização de estações de trabalho é um ponto vantajoso, pois através desta técnica, obtém-se redução no consumo total de energia, melhor aproveitamento dos recursos computacionais e economia de espaço físico [SAKASHITA, Yukinori et al 2016]. Os servidores de virtualização são componentes integrantes à *cloud* privada como um todo, sendo que seu gerenciamento é feito essencialmente pelo Controladores de *Cloud* existente no CPD. Porém, pode ser implementada uma hierarquia, de forma que exista um Controlador de *Cloud* subordinado ao CPD em cada NP.

3.3 Clientes de Terminal

Os Clientes de Terminal são as estações de trabalho finais dos usuários que se encontram dentro da instituição. Constituem-se de *thin clients* conectados pela rede predial até o NP. A principal vantagem em se usar *thin clients* no lugar de computadores convencionais está associada ao baixo consumo de energia.

Ao ligar o terminal, o cliente pode escolher o Sistema Operacional (SO) desejado através de uma interface gráfica. No momento em que o SO for escolhido, o controlador da nuvem solicita a um servidor de virtualização do núcleo predial em questão para que crie uma instância de máquina virtual para ser utilizada pelo cliente. O usuário não sabe qual servidor está sendo utilizado para processar sua sessão, pois o Controlador de *Cloud* executa o balanceamento de carga, atribuindo cada nova instância ao servidor do NP com mais recursos disponíveis no momento.

4. Trabalhos Relacionados

Shikida, M. *et al.* (2012) reportam um caso de sucesso em implantação de uma nuvem privada em uma universidade no Japão, utilizando-se *VMware vSphere* para a virtualização de *hosts*. A função desta nuvem é prover armazenamento de dados e serviços de terminais aos alunos e funcionários da instituição. Os principais resultados alcançados através desta arquitetura foram: 1) melhor utilização de recursos computacionais; 2) economia de 48% de energia elétrica e 3) economia de 70% de espaço. O principal ponto negativo são os custos com licenças, visto que foram utilizadas soluções pagas na arquitetura construída.

O trabalho [Laszewski et al 2012] teve como objetivo comparar a escalabilidade das

ferramentas OpenNebula, OpenStack, Eucalyptus e Nimbus. Neste sentido, o ambiente de teste foi o cluster India, composto por processadores Intel Xeon X5570 com 24GB de memória, disco de 500GB com 7200RPM (3GB/s) e uma rede de interconexão de 1Gb/s. Os resultados mostraram que o OpenNebula teve a melhor escalabilidade, permitindo o provisionamento de 148 VM de uma só vez e sem nenhum erro. A segunda melhor ferramenta foi o OpenStack, conseguindo o provisionamento de no máximo 64 VM (enviando no máximo 10 de cada vez) com cerca de 50% de falhas.

5. Considerações Finais

A necessidade de se desenvolverem pesquisas de novas tecnologias em redes de computadores e em outras áreas da computação foram fatores determinantes para o surgimento das *testbeds*. Contudo o acesso a redes de experimentação e recursos computacionais para a realização de experimentos ainda se demonstra insuficiente dentro de instituições públicas de ensino.

No intuito de alavancar a pesquisa em informática e em áreas afins, apresentou-se, de forma inicial e crescente, a proposta de arquitetura que converge tecnologias SDN e *cloud computing*, de forma a criar uma *testbed* universitária operando em conjunto com uma nuvem privada. Assim, almeja-se na continuação do desenvolvimento deste trabalho, que o modelo proposto consiga: 1) estimular o desenvolvimento de pesquisas, por aproximar os usuários a um ambiente de experimentação real; 2) prover economia de energia, através da virtualização de estações de trabalho e migração destas para a nuvem privada e 3) prover melhor disponibilidade dos serviços, assim como facilidade de seu gerenciamento.

Referências

- Berman, M. *et al.* (2014) "GENI: A Federated Testbed for Innovative Network Experiments", em *Computer Networks*, vol. 61, p. 5-23;
- Blenk, A., Basta, A., Reisslein, M. Kellerer, W. (2015) "Survey on Network Virtualization Hypervisors for Software Defined Networking".
- Ciuffo, L. Salmito, T., Rezende, J., Machado, I. (2016) "Testbed FIBRE: Passado, Presente e Perspectivas", em *Anais do WPEIF 2016*.
- Mijumbi, Rashid, et al. "Network function virtualization: State-of-the-art and research challenges." *IEEE Communications Surveys & Tutorials* 18.1 (2016): 236-262
- Gangwar, Hemlata, Hema Date, and R. Ramaswamy. "Understanding determinants of cloud computing adoption using an integrated TAM-TOE model." *Journal of Enterprise Information Management* 28.1 (2015): 107-130.
- Kreutz, Diego, et al. "Software-defined networking: A comprehensive survey." *Proceedings of the IEEE* 103.1 (2015): 14-76.
- Laszewski, J. Diaz, F. Wang e G. C. Fox. Comparison of Multiple Cloud Frameworks. 2012 IEEE Fifth International Conference on Cloud Computing. Washington. 2012. p.734-741.

- McKeown, N. *et al.* (2008) “OpenFlow: Enabling Innovation in Campus Networks”, em ACM SIGCOMM Computer Communication Review, vol. 38 ed. 2, p. 69-74.
- Salmito, T. *et al.* (2014) “FIBRE – An International Testbed for Future Internet Experimentation”, em Anais do 32° SBRC, 2014.
- SAKASHITA, Yukinori *et al.* Simulation of Power Saving in Private Cloud Environment. In: Proceedings of the 42nd annual ACM SIGUCCS conference on User services. ACM, 2014. p. 53-57.
- Shikida, M. *et al.* (2012) “An Evaluation of Private Cloud System for Desktop Environments”, em 40th Annual ACM SIGUCCS Conference on User Services, p. 131-134
- Suñh , M. *et al.* (2014) “Design and Implementation of the OFELIA FP7 Facility: The European OpenFlow Testbed”, em Computer Networks, vol 61, p.132-150.