

# VNEXT: Uma Ferramenta de Controle e Gerenciamento para Redes Virtuais Baseadas em Xen

Igor M. Moraes<sup>2</sup>, Pedro S. Pisa<sup>1</sup>, Hugo E. T. Carvalho<sup>1</sup>, Rafael S. Alves<sup>1</sup>,  
Lyno Henrique G. Ferraz<sup>1</sup>, Tiago N. Ferreira<sup>1</sup>, Rodrigo S. Couto<sup>1</sup>,  
Daniel José da Silva Neto<sup>1</sup>, Victor P. da Costa<sup>1</sup>, Renan A. Lage<sup>1</sup>,  
Luciano V. dos Santos<sup>1</sup>, Natalia C. Fernandes<sup>1</sup>, Miguel Elias M. Campista<sup>1</sup>,  
Luís Henrique M. K. Costa<sup>1</sup>, Otto Carlos M. B. Duarte<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Grupo de Teleinformática e Automação, PEE/COPPE-DEL/POLI,  
Universidade Federal do Rio de Janeiro

<sup>2</sup>Laboratório MídiaCom, PGC-TCC/IC,  
Universidade Federal Fluminense

{pisa,hugo,santos,lyno,tiago,souza,neto,pereira,renan,  
luciano,natalia,miguel,luish,otto}@gta.ufrj.br, igor@ic.uff.br

**Resumo.** *Este artigo propõe uma ferramenta para controlar e gerenciar redes virtuais baseadas na plataforma Xen. O objetivo da ferramenta proposta é auxiliar a tomada de decisões dos administradores de rede, uma vez que o gerenciamento de redes virtualizadas é uma tarefa complexa. Com a ferramenta proposta, o administrador pode ligar, desligar e migrar roteadores virtuais, definir redes virtuais e monitorar essas redes com poucos cliques de mouse, usando uma interface gráfica amigável. O administrador também pode tomar decisões de alto nível, como redefinir a topologia da rede virtual usando a funcionalidade de migração ao vivo sem perdas de pacotes e, assim, economizar energia desligando roteadores físicos.*

**Abstract.** *This paper proposes a tool to control and manage virtual networks based on the Xen platform. The goal of the proposed tool is to assist network administrators to perform decision making, because the management of virtualized networks is a hard task. With the proposed tool, the administrator is able to turn on, turn off and migrate virtual routers, define virtual networks, and monitor these networks with a few mouse clicks by using a user-friendly graphical interface. The administrator can also perform high-level decisions, such as redefine the virtual network topology by using the loss-free live migration functionality, which can be further used to save energy by shutting down physical routers.*

## 1. Introdução

As técnicas de virtualização permitem que múltiplas redes virtuais operem simultaneamente sobre um mesmo substrato físico [Moreira et al. 2009] e que cada rede possa ser configurada com pilhas de protocolos diferentes, pois estão isoladas umas das outras. Assim, a virtualização de redes possibilita a criação de uma arquitetura pluralista, na qual diferentes redes virtuais coexistem e não mais uma única rede homogênea e genérica. Dessa forma, tal técnica oferece a flexibilidade desejada para a Internet do

Futuro e também a compatibilidade com a atual Internet, sendo utilizada inclusive como base de plataformas de testes (*testbeds*).

Uma proposta para se implementar a virtualização de redes é criar roteadores virtuais [Egi et al. 2007, Vaughan-Nichols 2006] usando a técnica de virtualização de máquina. Assim, cada roteador físico é dividido em diferentes roteadores virtuais, um para cada rede virtual da qual pertence. A implementação dos roteadores virtuais pode ser feita com o Xen [Barham et al. 2003], que é uma plataforma de virtualização de código aberto para computadores pessoais. Egi *et al.* mostram que os atuais computadores pessoais providos de processadores com múltiplos núcleos permitem a construção de roteadores eficientes e de baixo custo, com desempenho similar a roteadores de prateleira [Egi et al. 2007]. Por outro lado, enquanto um roteador convencional possui apenas um plano de controle e um plano de dados, o Xen permite que esses dois planos sejam virtualizados. Cada roteador virtual implementa os seus próprios planos de controle e de dados e, assim, o Xen aumenta a programabilidade da rede em relação a outras tecnologias que virtualizam apenas o plano de controle e compartilham o plano de dados [Fernandes et al. 2010]. Essa é a principal vantagem do uso do Xen para implementar roteadores virtuais e, por isso, ele tem sido usado por diferentes plataformas de testes e projetos de novas arquiteturas para a Internet do Futuro [Niebert et al. 2008, CHANGE 2010, Horizon 2009, SecFuNet 2011].

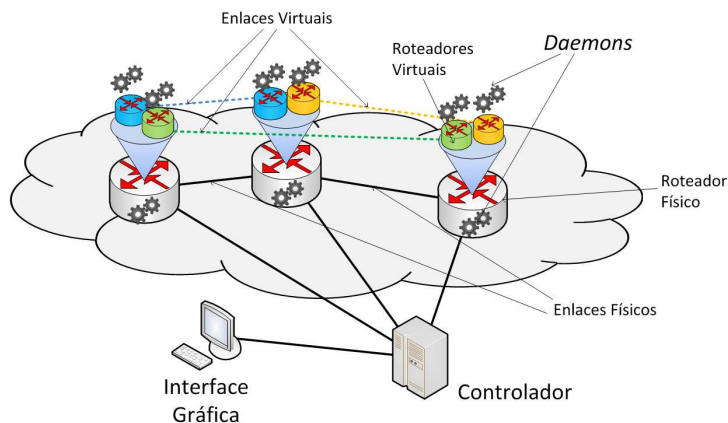
Com a virtualização de redes, o gerenciamento se torna um desafio ainda maior do que na Internet atual [Schonwalder et al. 2003], pois é necessário distribuir os recursos físicos entre as redes virtuais e também controlar e gerenciar os recursos de cada uma das múltiplas redes [He et al. 2008]. Nesse cenário complexo, ferramentas de controle e gerenciamento automatizadas ou que auxiliem a tomada de decisões dos administradores de rede são essenciais. O número de variáveis de rede a serem monitoradas e a possibilidade de uma decisão afetar o desempenho de outras redes aumentam consideravelmente. Além disso, existem novas funcionalidades que agregam mais possibilidades ao gerenciamento, pois é possível instanciar, migrar e desligar um roteador virtual [Fernandes et al. 2010].

Este artigo propõe uma ferramenta de controle e gerenciamento de redes virtuais baseada na plataforma Xen, chamada VNEXT (*Virtual Network management for Xen-based Testbeds*). A ferramenta proposta é específica para gerenciar e controlar roteadores e redes virtuais e, por isso, difere das ferramentas existentes para o gerenciamento da plataforma Xen [Begnum 2006, Host sFlow 2010, OpenXenManager 2010], que foram propostas para *data centers*. Esse diferencial exige que novas funcionalidades sejam inseridas, como a criação/desligamento/migração de roteadores virtuais, a definição de redes virtuais, o monitoramento e o controle dessas redes. A migração ao vivo de roteadores virtuais sem perdas de pacotes e a visualização tridimensional da topologia das redes virtuais são inovações introduzidas pela ferramenta proposta. Com o VNEXT, através de uma interface gráfica simples e amigável, é possível tomar decisões de alto nível, como redefinir a topologia da rede virtual e economizar energia desligando roteadores físicos, com poucos cliques de mouse do administrador.

Este artigo está organizado da seguinte forma. As Seções 2 e 3 descrevem a arquitetura da ferramenta VNEXT e suas principais funcionalidades. A Seção 4 detalha como a ferramenta será demonstrada no SBRC. Por fim, a Seção 5 conclui este trabalho e apresenta os próximos passos para o desenvolvimento do VNEXT.

## 2. A Arquitetura da Ferramenta VNEXT

O VNEXT é composto por três módulos principais: o controlador<sup>1</sup> das redes virtuais, o *daemon* de monitoramento e atuação nos roteadores físicos e virtuais e a interface gráfica para o usuário administrador da rede. De maneira simplificada, a comunicação com os roteadores é realizada através do módulo do controlador que interage com os *daemons* instalados em cada um dos roteadores da rede, enquanto a interação do administrador com a ferramenta ocorre através do módulo da interface gráfica. A Figura 1 apresenta a arquitetura funcional do VNEXT.



**Figura 1. A arquitetura do VNEXT: controlador, *daemons* de monitoramento e atuação e interface gráfica.**

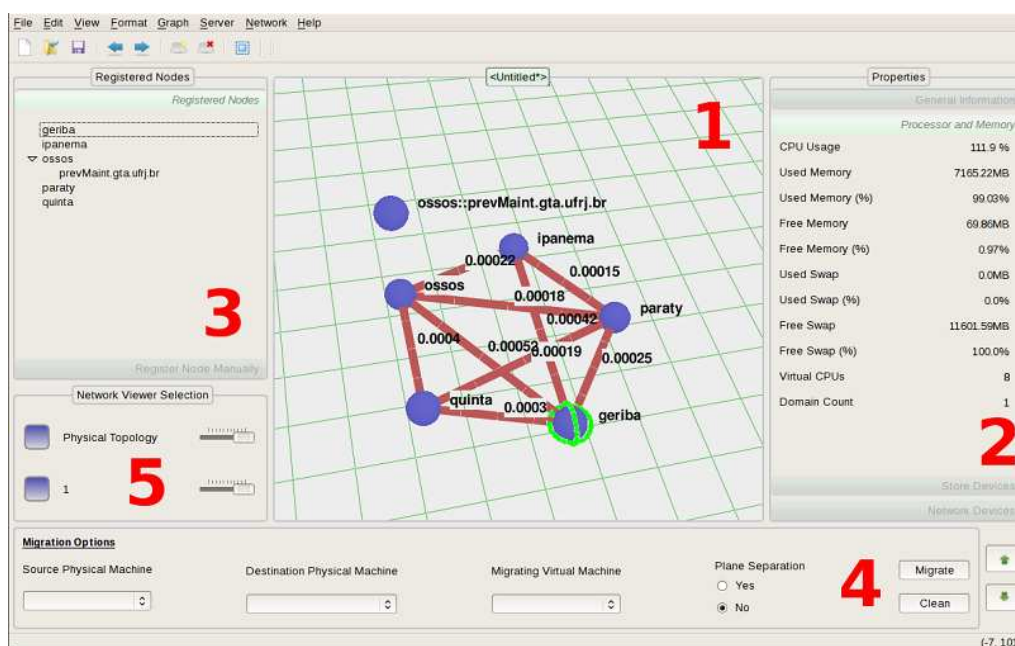
O *daemon* de monitoramento e atuação é o módulo básico da ferramenta. Cada roteador físico e cada roteador virtual da rede executam um *daemon*, cujas funções básicas são: obter as informações de monitoramento que são requeridas pelo controlador, padronizar o formato dessas informações e repassá-las para o controlador. Dentre as informações obtidas, pode-se citar o uso de memória, o consumo de banda, o número de processadores e o percentual de processamento usado no espaço usuário ou de sistema. Essas informações são obtidas através de medidas passivas e ativas e usam ferramentas desenvolvidas especificamente para o VNEXT e outras existentes, como o `ifconfig`, o `top` e o `iptables`. Além de monitorar, os *daemons* também são responsáveis por atuar nos roteadores físicos e virtuais em resposta a requisições do controlador, por exemplo, para migrar ou para desligar roteadores virtuais, como é detalhado na Seção 3. Existe ainda uma hierarquia na comunicação entre os *daemons* para reduzir o envio de requisições e respostas na rede. O controlador se comunica apenas com os *daemons* dos roteadores físicos e esses se comunicam com os *daemons* dos roteadores virtuais. Assim os *daemons* dos roteadores virtuais não enviam mensagens na rede. O *daemon* do roteador físico realiza operações em lote para os diversos roteadores virtuais, como na descoberta da topologia da rede, ou simplesmente repassa as requisições para os roteadores virtuais, como na coleta de medidas desses roteadores. Os *daemons* são escritos na linguagem Python.

O módulo controlador faz a comunicação entre o usuário, através da interface gráfica, e os *daemons* dos roteadores no VNEXT. Esse módulo é responsável por receber as requisições dos administradores de rede através da interface gráfica<sup>2</sup> e por disparar as

<sup>1</sup>Neste trabalho, o módulo controlador possui funções similares às de um módulo gerente empregado por ferramentas de gerência encontradas na literatura.

<sup>2</sup>Os serviços podem ser acessados por outras interfaces/clientes desenvolvidas pelos administradores.

requisições para os roteadores. Ele pode executar em um computador pessoal em separado ou em um dos roteadores físicos da rede. O controlador é implementado em Java na forma de um *Web Service*, utilizando a biblioteca Axis2 e o servidor Apache Tomcat6. Toda a comunicação entre o controlador e os *daemons* é realizada através de um *socket* TCP e as mensagens trocadas são no formato XML (*Extensible Markup Language*). O cabeçalho XML de todas as mensagens trocadas pelos módulos da ferramenta é padronizado. O controlador também exporta uma interface de serviços de controle que pode ser acessada pela interface gráfica. Essa interface utiliza o protocolo SOAP (*Simple Object Access Protocol*) para encapsular as mensagens XML. É essa interface que permite a execução das funcionalidades detalhadas na Seção 3. O controlador também é responsável por manter o estado dos roteadores físicos e virtuais que ele controla, como por exemplo, uma lista dos roteadores físicos acessíveis e seus respectivos roteadores virtuais. O estado dos roteadores físicos é monitorado através de mensagens do tipo *keep alive*, que são enviadas periodicamente dos roteadores físicos para o controlador. O estado dos roteadores virtuais é mantido através de requisições à biblioteca Libvirt, que executa nos roteadores físicos e informa o estado dos roteadores virtuais a cada intervalo de tempo.



**Figura 2. Janela inicial da ferramenta: (1) visualização da topologia da rede, (2) informações de cada roteador, (3) informações de disponibilidade dos roteadores, (4) mecanismos para migração e (5) a personalização da visualização.**

Por fim, o módulo da interface gráfica do usuário permite a visualização e o controle das redes físicas e virtuais pelos administradores de forma amigável, como pode ser visto na Figura 2. Para o desenvolvimento da interface gráfica, utilizou-se a linguagem Python com as bibliotecas gráficas Qt e OpenGL. A interface gráfica se comunica com o controlador através de um empacotador (*wrapper*) que transforma os serviços SOAP do controlador para métodos da linguagem Python. Na interface gráfica do VNEXT, a rede física e as redes virtuais são estruturadas como grafos e exibidas como tal em uma janela que também permite a interação através de movimentos de rotação e translação. A interface gráfica permite ainda a interação com a topologia da rede, contendo algoritmos para

reorganizar a topologia e para calcular o caminho mais curto, baseado no número de saltos ou nos pesos dos enlaces representados pela latência dos enlaces. O desenho da topologia é implementado com a biblioteca OpenGL. A interface gráfica possui ainda janelas para apresentar os roteadores físicos e virtuais atualmente disponíveis na infraestrutura, as informações de monitoramento coletadas dos roteadores, as redes atualmente apresentadas na interface, bem como controles para melhorar a visualização das redes, mudando suas cores e ocultando algumas informações. No contexto de atuação na rede, a interface gráfica possui janelas para ligar e desligar roteadores físicos e virtuais, reiniciar, suspender e restaurar roteadores virtuais e migrá-los. A criação de redes virtuais é realizada através do desenho de uma nova rede na janela de visualização topologia e as operações são realizadas em lote quando o usuário submete a nova rede para o controlador.

O requisito principal para uso da ferramenta são roteadores baseados na plataforma Xen. Cada um dos módulos do VNEXT é instalado de forma independente. A instalação e a configuração dos *daemons* é simples: para os roteadores físicos, existe um *script* que automaticamente copia um conjunto de arquivos para o diretório `/var` do roteador. Esse conjunto de arquivos possui o código necessário para monitorar e controlar o roteador. Os roteadores virtuais criados com a ferramenta já possuem o *daemon* instalado no momento de sua criação. O controlador deve ser instalado em um único elemento que esteja conectado à rede de testes, seja ele um elemento dedicado ou um dos roteadores físicos. Por fim, a interface gráfica precisa ser apenas executada, sem a necessidade de instalação em qualquer computador do usuário que tenha acesso ao controlador. Todos os módulos foram desenvolvidos para o sistema operacional Linux.

### 3. As Funcionalidades da Ferramenta VNEXT

A ferramenta VNEXT e a lista completa de suas funcionalidades estão disponíveis em <http://www.gta.ufrj.br/vnext>. Algumas dessas funcionalidades são detalhadas a seguir. Neste sítio, também é possível obter a documentação de projeto e o manual de instalação e uso da ferramenta. Também está disponibilizada uma imagem de roteador virtual Xen para a construção de uma rede de testes.

**Criação de roteadores virtuais:** uma rede virtual é constituída de roteadores virtuais. No contexto do VNEXT, os roteadores virtuais são máquinas virtuais Xen que executam processos de roteamento por *software*. Assim, o administrador, através da interface gráfica, define os requisitos dos roteadores virtuais em termos de memória, número de CPUs virtuais e interfaces de rede. O VNEXT cria o roteador a partir de uma imagem de disco pré-definida para evitar a instalação de um sistema operacional em tempo real. Além disso, o VNEXT acessa o sistema de arquivos do roteador virtual e instala ferramentas adicionais para realizar o roteamento. O VNEXT, então, realiza o processo de clonagem do modelo de roteador virtual e, em seguida, configura os arquivos específicos de cada roteador virtual, para permitir a comunicação entre eles e o acesso dos administradores. Uma vez criados, os roteadores virtuais podem ser instanciados a qualquer instante.

**Criação de redes virtuais e controle individual das redes:** com os roteadores virtuais criados, o próximo passo é criar as rede virtuais. Uma rede virtual é formada por um conjunto de roteadores virtuais, que são mapeados em máquinas físicas distintas e interconectados através de enlaces virtuais. Portanto, criar uma rede virtual significa configurar quais são as interconexões existentes entre os roteadores virtuais, qual será a faixa de endereços

usada e que protocolos, por exemplo, de roteamento, serão executados pelos roteadores virtuais. O administrador de rede utiliza a funcionalidade de visualização da topologia física para criar uma nova rede virtual. Ele define os requisitos dos roteadores virtuais e a topologia da rede virtual, desenhando os nós e as arestas, e, após a confirmação dessas definições, a interface gráfica faz uma chamada em lote à função de criação de roteadores virtuais tendo como parâmetros tais requisitos. Assim, a rede virtual estará completamente configurada e poderá ser instanciada e iniciada prontamente. Além disso, o administrador de rede pode desligar a rede virtual quando terminar os testes ou pode destruir a rede para liberar os recursos alocados imediatamente.

**Monitoramento do estado dos roteadores e enlaces:** a ferramenta desenvolvida permite a verificação em tempo real de informações relativas aos roteadores e enlaces virtuais. A janela principal da ferramenta exibe a topologia da rede física e das redes virtuais, apresentando sobre cada enlace da rede física e virtual o seu peso, no caso a latência do enlace em segundos. Ao clicar sobre um roteador físico ou virtual, o usuário visualiza em um novo painel as informações coletadas pelos *daemons* de monitoramento. Dentre essas informações estão a latência atual de cada um dos enlaces físicos, taxas e número de pacotes transmitidos, uso de recursos de memória e de processamento.

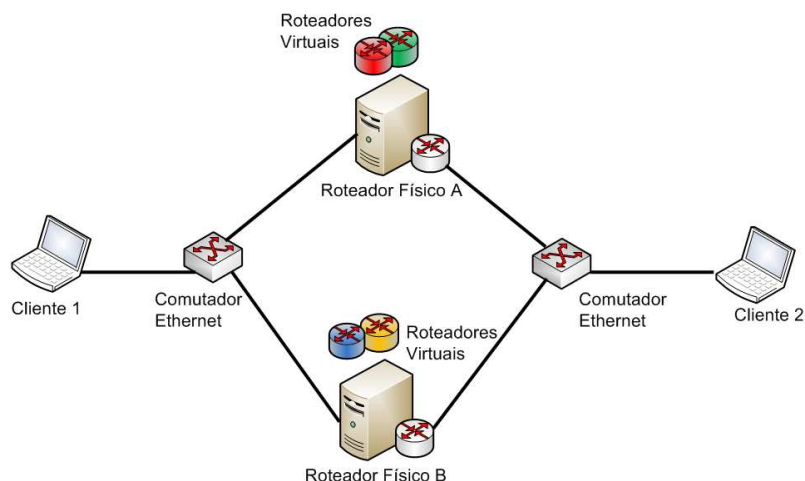
**Reorganização da topologia virtual:** a migração é uma funcionalidade possibilitada pela virtualização de redes. Nesse contexto, se todos os roteadores usam a mesma plataforma de virtualização, é possível reposicionar um roteador virtual de um roteador físico para outro. A vantagem da migração sobre a simples cópia de um roteador virtual é que não é necessário parar o serviço oferecido para fazer sua transferência. O VNEXT implementa a migração com separação de planos [Pisa et al. 2011], a qual permite migrar um roteador virtual sem perdas de pacotes. Isso é possível, pois o plano de encaminhamento do roteador virtual é mantido funcional durante todo o processo de migração. No VNEXT, a migração padrão do Xen também está disponível. O uso de uma das duas técnicas de migração é determinado durante a criação ou a instanciação de um roteador virtual.

**Desligamento/religamento de roteadores físicos:** o VNEXT possui mecanismos para ligar e desligar os roteadores físicos. Assim, em situações de baixa carga ou de falhas, é possível desligar esses roteadores para economizar energia ou realizar sua manutenção preventiva. Para tanto, os roteadores virtuais são migrados para outro roteador físico e o roteador físico de origem é desligado. Pela interface gráfica, o administrador deve selecionar em uma lista o roteador físico que deve ser desligado e o roteador que hospedará os roteadores virtuais e, em seguida, confirmar a operação clicando em um botão. Assim, todo o processo de migração dos roteadores virtuais e desligamento do roteador físico é realizado automaticamente. O processo de desligamento é realizado através de uma conexão remota do controlador ao roteador e a execução de um comando para que ele desligue. Por outro lado, para religar os roteadores remotamente, usa-se o mecanismo *Wake-on-LAN* padrão do protocolo Ethernet.

#### 4. Demonstração

A demonstração da ferramenta VNEXT no SBRC ilustrará a funcionalidade de migração de roteadores virtuais sem perdas de pacotes para outro roteador físico e o consequente desligamento do roteador físico de origem para economia de energia ou manutenção. Para criar a rede de testes da demonstração, são necessários dois computadores portáteis, que são os clientes e um deles atuará como controlador, dois computadores

peçoais, que sero os roteadores físicos, e um comutador Ethernet que tenha suporte a VLANs e pelo menos 6 portas para interligar os elementos da rede de testes. Os autores fornecerão o comutador e os computadores portáteis. Os computadores pessoais a serem usados podem ser cedidos pela organização do SBRC ou levados pelos autores.



**Figura 3. Rede de testes para demonstrar a migração de roteadores virtuais sem perdas de pacotes e o consequente desligamento de um dos roteadores físicos.**

O experimento consiste no envio de pacotes de ping de um computador portátil para o outro através de uma dada rede virtual. O primeiro passo da demonstração é a criação dessa rede virtual. Em seguida, os roteadores virtuais em execução no roteador físico A são migrados para o roteador físico B e A então é desligado. Durante a migração, é possível observar que não há perda de pacotes. Em seguida, o roteador físico A é religado e os roteadores virtuais voltam ao seu roteador físico de origem. Durante o experimento também é possível observar visualmente a variação de consumo dos recursos, como processamento e memória, dos roteadores físicos. Esse experimento também é repetido usando um fluxo de vídeo ao invés do ping.

## 5. Conclusão

Este artigo apresentou a ferramenta VNEXT proposta para auxiliar a tomada de decisões dos administradores de rede. Essa ferramenta oferece diversas funcionalidades específicas para controlar e gerenciar redes virtuais, tais como: a criação e a migração de roteadores virtuais e a definição e o monitoramento dessas redes. O VNEXT possui uma interface gráfica amigável, através da qual o administrador pode realizar tarefas de alto nível com poucos cliques de mouse. Novas funcionalidades de apoio à gerência da rede serão futuramente acrescentadas ao VNEXT, como por exemplo: mecanismos para garantir o isolamento das redes virtuais, mecanismos de diferenciação de serviços entre essas redes e mecanismos automáticos de geração de perfis de uso de roteadores e a consequente geração de alarmes quando esses perfis são violados.

## Agradecimentos

Agradecemos a Marcelo Moreira, Carlo Fragni, Leonardo Valverde, Jéssica dos Santos e Daniel Simões pela contribuição durante o desenvolvimento da ferramenta. Este trabalho foi financiado com recursos da FINEP, FUNTTEL, CNPq, CAPES e FAPERJ.

## Referências

- Barham, P., Dragovic, B., Fraser, K., Hand, S., Harris, T., Ho, A., Neugebauer, R., Pratt, I. e Warfield, A. (2003). Xen and the art of virtualization. Em *ACM Symposium on Operating Systems Principles - SOSP*, páginas 164–177.
- Begnum, K. M. (2006). Managing large networks of virtual machines. Em *Large Installation System Administration Conference - LISA*, páginas 205–214.
- CHANGE (2010). The CHANGE Project. Disponível em <http://www.change-project.eu>. Acessado em março de 2011.
- Egi, N., Greenhalgh, A., Handley, M., Hoerd, M., Mathy, L. e Schooley, T. (2007). Evaluating Xen for router virtualization. Em *IEEE Intl. Conference on Computer Communications and Networks - ICCCN*, páginas 1256–1261.
- Fernandes, N. C., Moreira, M. D. D., Moraes, I. M., Ferraz, L. H. G., Couto, R. S., Carvalho, H. E. T., Campista, M. E. M., Costa, L. H. M. K. e Duarte, O. C. M. B. (2010). Virtual networks: Isolation, performance, and trends. *Annals of Telecommunications*, 1:1–17.
- He, J., Zhang-Shen, R., Li, Y., Lee, C.-Y., Rexford, J. e Chiang, M. (2008). DaVinci: dynamically adaptive virtual networks for a customized Internet. Em *ACM Intl. Conference on emerging Networking EXperiments and Technologies - CoNEXT*.
- Horizon (2009). Horizon project: A new horizon to the Internet. Disponível em <http://www.gta.ufrj.br/horizon>. Acessado em março de 2011.
- Host sFlow (2010). Host sFlow - data center wide server performance monitoring. Disponível em <http://host-sflow.sourceforge.net/>. Acessado em março de 2011.
- Moreira, M. D. D., Fernandes, N. C., Costa, L. H. M. K. e Duarte, O. C. M. B. (2009). Internet do Futuro: Um novo horizonte. Em *Minicursos do Simpósio Brasileiro de Redes de Computadores - SBRC*, páginas 1–59.
- Niebert, N., Baucke, S., El-Khayat, I., Johnsson, M., Ohlman, B., Abramowicz, H., Wuenstel, K., Woesner, H., Quittek, J. e Correia, L. M. (2008). The way 4WARD to the creation of a future Internet. Em *IEEE Intl. Symposium on Personal, Indoor and Mobile Radio Communications - PIMRC*, páginas 1–5.
- OpenXenManager (2010). OpenXenManager - XenseMaking project. Disponível em <http://www.openxenmanager.com/>. Acessado em março de 2011.
- Pisa, P. S., Fernandes, N. C., Carvalho, H. E. T., Moreira, M. D. D., Campista, M. E. M., Costa, L. H. M. K. e Duarte, O. C. M. B. (2011). OpenFlow and Xen-based virtual network migration. Em *Communications: Wireless in Developing Countries and Networks of the Future*, volume 327, páginas 170–181.
- Schonwalder, J., Pras, A. e Martin-Flatin, J.-P. (2003). On the future of Internet management technologies. *IEEE Commun. Mag.*, 41(10):90–97.
- SecFuNet (2011). SecFuNet project: Security for future networks. Disponível em <http://www.gta.ufrj.br/secfunet>. Acessado em março de 2011.
- Vaughan-Nichols, S. J. (2006). New approach to virtualization is a lightweight. *IEEE Computer*, 39(11):12–14.