



Proposta para Grupo de Trabalho

**GT-ICN: Redes Orientadas a Conteúdo como
Plataforma para Disseminação Eficiente de
Conteúdo Educacional Multimídia**

Luciano Paschoal Gaspar
Instituto de Informática - UFRGS
05/09/2012

1. Título

**GT-ICN: Redes Orientadas a Conteúdo como Plataforma para Disseminação
Eficiente de Conteúdo Educacional Multimídia**

2. Coordenador

Prof. Luciano Paschoal Gaspary

Instituto de Informática (INF)

Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS)

URL da Homepage: <http://www.inf.ufrgs.br/~paschoal>

CV Lattes em <http://lattes.cnpq.br/3059640410928425>

Prof. Marinho Pilla Barcellos (Coordenador Adjunto)

URL da Homepage: <http://www.inf.ufrgs.br/~marinho>

CV Lattes em <http://lattes.cnpq.br/2784404872572914>

3. Resumo

Atualmente, a maior parte do tráfego da Internet é utilizada para distribuição de conteúdo. Em particular, aplicações visando à disseminação de conteúdo multimídia (arquivos, *streams* de vídeo, vídeos ao vivo, teleconferências, etc.) são as que demandam a maior quantidade de recursos de rede, sendo responsáveis por aproximadamente 80% do volume de tráfego. Tal tem levado a comunidade acadêmica e a indústria a repensarem, no próprio contexto de investigação da Internet do Futuro, arquiteturas de rede que venham a coexistir (ou substituir) a existente (reconhecidamente “ossificada”). Nesse contexto, tem-se investido em uma nova arquitetura de rede voltada para a distribuição eficiente de conteúdo na Internet, conhecida como **Redes Orientadas a Conteúdo** (*Information-Centric Networks* ou ICN). Essencialmente, essa arquitetura apresenta como principal característica o foco na informação e na sua distribuição, lançando mão de uma estratégia *publish-subscribe*. Dada a importância do tema, e do seu potencial de exploração pela RNP visando a oferecer uma nova geração de serviços ao seu público-alvo, propõe-se a investigação e a prototipação de um serviço de disseminação de conteúdo educacional baseado em uma arquitetura ICN. Esse serviço será implantado experimentalmente como uma rede de sobreposição, sem comprometer a rede de produção da RNP, baseada em um conjunto reduzido de servidores e em nós do PlanetLab.

4. Abstract

Nowadays, the majority of the Internet traffic is used for content distribution. Particularly, applications for dissemination of multimedia content (files, video-on-demand, live streaming, teleconferencing, etc.) are the ones that demand most network resources, being responsible for approximately 80% of the total traffic volume. This led the academic community and the industry to rethink, in the context of Future Internet investigations, network architectures that may coexist with (or replace) the existing one (which is known to be “ossified”). Recent efforts have been started towards the design of a novel architecture, known as **Information-Centric Networks** (ICN), focused on the efficient distribution of content in the Internet. Essentially, this architecture focuses on the information and its distribution, using as foundation a publish-subscribe strategy. Given the relevance of this subject and its potential of exploration by RNP in order to offer a new generation of services to its target audience, we propose the investigation and prototyping of an ICN-based service for the dissemination of educational content. This service will be experimentally deployed as an overlay network, without compromising the RNP production network, with the use of a reduced set of servers and taking advantage of PlanetLab nodes.

5. Parcerias

Os proponentes do GT têm mantido contato com pesquisadores envolvidos com a investigação de ICNs, como Van Jacobson (PARC, USA), Christos Papadopoulos (CSU, USA) e George Pavlou (UCL, UK). Ainda que no momento não exista nenhuma parceria, de fato, estabelecida, espera-se poder concretizá-las nos próximos meses. No que se refere à indústria e ao governo, espera-se poder buscar, com apoio da RNP, parceiros que possam contribuir com o projeto.

6. Duração do projeto

12 meses

7. Sumário executivo

7.1. Contexto, problematização, motivação e objetivos gerais

Os princípios básicos da Internet estão fundamentados no cenário das décadas de 60 e 70. O principal desafio dessa época era conectar as poucas estações disponíveis, de forma que seus recursos computacionais pudessem ser compartilhados eficientemente à distância (KUROSE; ROSS, 2009). Ao longo dos anos, contudo, o modelo original da Internet foi sendo modificado para acomodar os requisitos provenientes dos novos sistemas computacionais e serviços (HE *et al.*, 2008). Atualmente, os recursos de rede da Internet são, em sua maioria, empregados por aplicações para o compartilhamento de conteúdo (CISCO, 2011). Dentre essas, as que mais se destacam pelo consumo de recursos são aquelas relacionadas à disseminação de conteúdo multimídia (arquivos, vídeo-sob-demanda, vídeos ao vivo, teleconferências, etc.).

Duas classes de sistemas têm sido majoritariamente usadas para lidar, de forma eficiente, com o problema de escoamento do grande volume de tráfego gerado por aplicações de disseminação de conteúdo multimídia. A primeira delas são os sistemas de compartilhamento de arquivos par-a-par (P2P), tais como BitTorrent (LEVIN *et al.*, 2008). Sua principal diferença em relação a sistemas cliente-servidor é utilizar a capacidade de *upload* dos usuários como forma de distribuir a carga do sistema. Com isso, esses sistemas P2P conseguem lidar eficientemente com o crescimento do número de usuários, pois a capacidade total dos sistemas cresce proporcionalmente. A segunda classe de sistemas são as *Content Delivery Networks* (CDNs) (PALLIS; VAKALI, 2006). Seu princípio básico é mover os dados das fontes para a borda da Internet por meio de replicações. Dessa forma, a qualidade de experiência do usuário é melhorada porque o conteúdo se localiza mais próximo dos usuários finais e, portanto, sua transmissão está menos sujeita a problemas (atrasos, perdas de pacotes, etc.) tradicionalmente associados a congestionamentos na rede.

Embora válidas, essas classes de sistemas são paliativas e de curto prazo. Estudos relacionados ao desenvolvimento da Internet do Futuro trazem a oportunidade de se repensar a arquitetura da Internet, a fim de alinhá-la com os requisitos dos sistemas computacionais atuais e em desenvolvimento. Nesse sentido, uma proposta promissora, que vem ganhando espaço em diferentes veículos de pesquisa, são as **Redes Orientadas a Conteúdo** (*Information-Centric Networks* ou ICN) (AHLGREN *et al.*, 2012; JACOBSON, 2006). A principal característica dessa proposta é centrar a rede no conteúdo disponível e na busca do conteúdo desejado pelo seu nome, independente de onde esse esteja localizado na rede. Além disso, arquiteturas ICN implementam diferentes mecanismos, como, por exemplo, *caching*, para reduzir o consumo de recursos de rede durante a distribuição de conteúdos. Existem trabalhos que vislumbram a substituição da arquitetura atual da Internet por uma totalmente nova, baseada nos conceitos de ICN. Tal linha de pesquisa, apesar de visionária, é disruptiva e da qual

esperam-se resultados práticos a longo prazo. Uma abordagem gradual, fundamentada na coexistência da arquitetura atual e uma nova, potencialmente baseada em ICN, permite que resultados práticos sejam obtidos em um prazo muito menor. Além disso, a possibilidade de se utilizar tal arquitetura em um ambiente real amplia o incentivo para que serviços inovadores sejam, desde já, desenvolvidos e implantados.

Arquiteturas atuais de ICN possuem protótipos que podem, hoje, ser instanciados, coexistindo em harmonia com ambientes de produção. Essas arquiteturas podem ser, então, utilizadas para a avaliação de novos serviços e aplicações. Nesse contexto, apresentam-se oportunidades de pesquisa, desenvolvimento e inovação, pertinentes a elementos fundamentais como endereçamento, roteamento, escalabilidade e segurança (AHLGREN *et al.*, 2012; GHODSI *et al.*, 2011). Perguntas pertinentes a serem respondidas incluem, por exemplo: como realizar o endereçamento dos diferentes tipos de conteúdo distribuídos na Internet? Como diferentes tipos de conteúdo são impactados pelo mecanismo de *in-network caching*? Arquiteturas ICN podem ser utilizadas para o desenvolvimento de serviços que não são focados na distribuição de conteúdo (p.ex. VoIP)?

Em meio a essas questões, encontram-se aquelas relacionadas a serviços de disseminação de conteúdo multimídia, em especial no caso de conteúdo ao vivo (*live streaming*). Diferentemente daquelas voltadas para disseminação de conteúdo estático, aplicações de (*live*) *streaming* possuem restrições temporais relacionadas ao processamento e exibição do conteúdo (LI; YIN, 2007). Tais restrições, quando não observadas, impactam diretamente na percepção do usuário sobre a qualidade do conteúdo distribuído. Consequentemente, haverá um reflexo dessas restrições no modo como o serviço é desenvolvido. Nesse sentido, a utilização de uma arquitetura ICN como base para o desenvolvimento de um serviço de disseminação multimídia requer o tratamento de tais restrições. Tal gera questões fundamentais relacionadas a como os mecanismos da arquitetura ICN impactarão nas restrições impostas pelo serviço de disseminação.

Dada a importância do tema, e do seu potencial de exploração pela RNP visando a oferecer uma nova geração de serviços, propõe-se a **investigação e a prototipação de um serviço de disseminação de conteúdo educacional baseado em uma arquitetura ICN**. Como base ao trabalho de PD&I, utilizar-se-á uma arquitetura ICN existente (potencialmente CCNx (JACOBSON *et al.*, 2009)). Essa arquitetura será instanciada, analisada e estendida visando ao suporte à disseminação eficiente e segura de conteúdo multimídia. O resultado do trabalho, “empacotado” na forma de um serviço, será implantado experimentalmente como uma rede de sobreposição, sem comprometer o ambiente de produção da RNP, baseada em um conjunto reduzido de servidores e em nós do PlanetLab. No contexto deste GT, os conteúdos a serem disseminados são palestras, cursos, tutoriais e seminários (pré-gravados e ao vivo) produzidos no âmbito de Instituições de Ensino Superior brasileiras e da própria RNP. Ressalta-se que o GT aqui proposto tem grande potencial para, ao mesmo tempo, levar à disponibilização de um serviço de grande importância ao público-alvo da RNP e alavancar pesquisa alinhada com o estado-da-arte no contexto mundial.

O restante do sumário executivo está organizado da seguinte forma. Na subseção 7.2 apresenta-se uma visão geral sobre os mecanismos fundamentais relacionados a redes orientadas a conteúdo. Na subseção 7.3 realiza-se uma síntese sobre as principais arquiteturas presentes na literatura. Por fim, na subseção 7.4 são apresentados os objetivos específicos dessa proposta.

7.2. Mecanismos fundamentais de ICN

Na Internet atual, o foco está no endereço do computador remoto que contém uma determinada informação. De posse da localização, uma aplicação pode iniciar uma

conexão para obter a informação desejada. Em contraste, arquiteturas ICN apresentam como principal característica o foco na informação e sua distribuição (AHLGREN *et al.*, 2012). Aplicações baseadas em ICN não requerem que a localização da informação seja conhecida. A aplicação informará a rede, por meio de uma requisição, qual informação que ela deseja obter. A rede, por sua vez, será responsável por localizar a informação e retorná-la para a aplicação solicitante. Embora as arquiteturas existentes apresentem soluções diferentes para questões específicas, elas compartilham três mecanismos comuns e fundamentais (AHLGREN *et al.*, 2012): **nomeação de objetos**, **roteamento** e **キャッシング**.

A **nomeação de objetos** é o mecanismo responsável por associar um identificador à informação que se deseja publicar ou obter, a qual passa a ser representada por um **objeto nomeado** (ou simplesmente objeto). Objetos representam, por exemplo, documentos, livros, vídeos, dentre outros. O esquema de nomeação desses objetos desempenha um papel importante no conceito ICN. O nome é dado à própria informação, de forma independente de sua localização. Ou seja, um objeto mantém seu nome independente do método como ele é transmitido ou armazenado. Existem dois esquemas principais de nomeação adotados por arquiteturas ICN: plano e hierárquico. A nomeação plana utiliza um conjunto de *bytes* de tamanho definido para identificar o conteúdo. Tal sequência pode ser gerada, por exemplo, por meio de uma função *hash* aplicada sobre o conteúdo. O esquema hierárquico, por sua vez, utiliza uma estrutura similar àquela das URLs. Alguns esquemas de nomeação planos apresentam a vantagem de serem auto-certificáveis, ou seja, o próprio nome serve de garantia de que o conteúdo representado é aquele que se está procurando. Por outro lado, a nomeação hierárquica possui como vantagem a inteligibilidade e a possibilidade de agregação de conjuntos de nomes para fins de roteamento. O mecanismo de nomeação apresenta questões em aberto, as quais têm sido levadas à discussão em conferências promovidas por grupos de pesquisa, como o ACM SIGCOMM. Um exemplo é o desenvolvimento de métodos para permitir que metadados sobre um objeto sejam transmitidos por meio de seu nome (SOLLINS, 2012).

No que se refere ao segundo mecanismo de ICNs, **roteamento**, há dois modelos principais adotados, que são influenciados pelo mecanismo de nomeação. O primeiro utiliza um serviço de resolução de nomes (do inglês *Name Resolution Service* ou NRS) para converter o nome requisitado em um localizador (por exemplo, um endereço IP). Um cliente primeiro encaminha uma requisição por um objeto ao NRS. Após a resolução, o localizador obtido é utilizado para encaminhar a requisição à fonte do objeto, que, por sua vez, será encaminhado ao cliente. O localizador obtido por meio da resolução pode ser, por exemplo, um endereço IP. O segundo modelo, denominado roteamento por nomes, utiliza os próprios identificadores dos objetos no processo de roteamento. Tabelas de roteamento são construídas através do anúncio de prefixos de nomes, realizado pelas fontes que armazenam objetos. Requisições de clientes, então, são roteadas a partir do casamento com o prefixo mais longo armazenado na tabela. Trabalhos recentes publicados sobre esse tema incluem o estudo de métodos para aumentar o desempenho de roteamento (TSILOPOULOS; XYLOMENOS, 2011).

O terceiro e último mecanismo fundamental em arquiteturas ICN é a presença de elementos de **キャッシング no núcleo da rede**. Isto é, enquanto são encaminhados entre fontes e clientes, os dados podem ser armazenados por qualquer elemento intermediário. Caso uma nova requisição à mesma informação seja realizada, pode-se respondê-la com uma cópia válida do objeto armazenada em um elemento de *キャッシング*. O uso de *キャッシング* é um dos principais fatores que tornam arquiteturas ICN mais eficientes para a distribuição de conteúdo. O *in-network caching* também é um tema discutido em trabalhos recentes, os quais tratam de questões fundamentais como o posicionamento de cópias na rede (PSARAS; CHAI; PAVLOU, 2012) e métodos para rotear requisições para a cópia do objeto mais próxima do cliente (EUM *et al.*, 2012).

7.3. Principais arquiteturas

ICN tem atraído a atenção da comunidade científica e da indústria. Isso é demonstrado pela existência de grandes projetos nos EUA e na Europa. A seguir são discutidas as características das principais arquiteturas desenvolvidas nesses projetos: a *Data Oriented Network Architecture* (DONA) (KOPONEN *et al.*, 2007), desenvolvida pelo ICSI e a UC Berkeley; o *Publish-Subscribe Internet Routing Paradigm* (PSIRP) (JOKELA *et al.*, 2009), atualmente desenvolvido no projeto FP7 PURSUIT por várias universidades europeias; a *Network of Information Architecture* (NetInf) (AHLGREN *et al.*, 2008), também desenvolvido por universidades europeias envolvidas no projeto FP7 4WARD; e o *Content-Centric Network* (CCN) (JACOBSON *et al.*, 2009), desenvolvido originalmente pela PARC e atualmente absorvido pelo projeto *Named Data Networking* (NDN) (ZHANG *et al.*, 2010).

DONA foi a primeira proposta de arquitetura ICN. Sua principal característica é endereçar os conteúdos utilizando nomes planos e auto-certificados. Essa característica, aliada à resolução de nomes hierárquica, permite que propriedades como persistência, disponibilidade, autenticação e *caching* sejam obtidas de forma simples e arquitetural.

NetInf e PSIRP são baseadas em uma infraestrutura de resolução de nomes. NetInf propõe conectar de maneira simples e transparente os produtores de informações e seus consumidores. Para isso, o conteúdo, endereçado com nomes planos, é publicado e registrado em um serviço de resolução de nomes. Ao requisitar um conteúdo, o cliente contata esse serviço e obtém um localizador, o qual é utilizado para obter a cópia do conteúdo. PSIRP, por sua vez, utiliza nomes planos, mas separa seu endereçamento em dois espaços: um para encontrar objetos e outro para encaminhá-los. Um sistema de ponto de encontro é utilizado para emparelhar objetos registrados e interesses anunciados nessa estrutura. Como resposta, o cliente recebe um identificador utilizado para rotear o objeto através da rede de encaminhamento.

CCN, por sua vez, difere das outras arquiteturas em relação à resolução de nomes. Ela endereça os nomes de forma hierárquica e inteligível. Essa característica permite a agregação de conteúdos, aumentando sua escalabilidade, embora ainda seja um problema, pois um roteador potencialmente terá que armazenar uma quantidade grande de caminhos pendentes. Uma requisição é enviada e roteada através da rede sem necessidade de uma estrutura auxiliar. Ao encontrar o conteúdo que o satisfaça, o objeto é retornado pelo mesmo caminho, sendo ele armazenado nos roteadores ao longo do caminho (assim podendo satisfazer futuras requisições de forma mais eficiente).

7.4. Objetivos específicos

Considerando-se a proposta do desenvolvimento de um serviço de disseminação de conteúdo educacional baseado em ICN, vislumbram-se três objetivos específicos a serem alcançados. O primeiro objetivo é a **avaliação de diferentes arquiteturas de ICN** conhecidas, considerando-se aspectos como viabilidade de implantação, maturidade, manutenibilidade e suporte às restrições do serviço a ser desenvolvido. O segundo objetivo, por sua vez, é a **instanciação de uma das arquiteturas** selecionadas (potencialmente a CCNx) em um ambiente controlado. Tal será utilizada para experimentação, análise da operação de seus mecanismos e extensão da arquitetura (visando a sua utilização para disseminar conteúdos multimídia de alta definição baseados em *streaming*). Tais procedimentos serão realizados para tornar a arquitetura apta ao desenvolvimento do terceiro objetivo: **implementação de um protótipo piloto** de um serviço de disseminação de conteúdo educacional. Tal protótipo será utilizado para avaliação da viabilidade da utilização da arquitetura e sua implantação em um ambiente de produção. No contexto deste GT, exemplos de conteúdos a serem

disseminados são palestras, cursos, tutoriais e seminários (pré-gravados e ao vivo) produzidos no âmbito de Instituições de Ensino Superior brasileiras e da própria RNP.

8. Ambiente para testes do protótipo

O trabalho proposto será inicialmente desenvolvido em uma pequena rede local, formada pelos equipamentos cedidos pela RNP. Esta rede será utilizada para avaliação da arquitetura selecionada e desenvolvimento do protótipo piloto do serviço de disseminação de conteúdo. Métodos de virtualização serão utilizados a fim de ampliar-se o ambiente de testes disponibilizado. Os experimentos realizados na primeira fase permitirão avaliar se a arquitetura e o protótipo se comportam como o esperado e, caso necessário, realizar as modificações necessárias para uma implementação de maior escala.

Em um segundo momento, será realizada a instanciação da arquitetura no PlanetLab para execução de testes em larga escala. Nesta fase espera-se executar experimentos incluindo, por exemplo, a disseminação de conteúdos multimídia de alta definição para diferentes instituições de ensino no Brasil. Para tal, será necessário contar com *slices* do PlanetLab disponíveis à RNP ou à UFRGS.

Os resultados obtidos nas avaliações do protótipo podem ser utilizadas para desenvolvimento de melhorias a fim de obter-se um serviço com um nível de qualidade de produção. Por exemplo, como trabalho futuro, vislumbra-se a implementação de instâncias do serviço nos Pontos de Presença da RNP a fim de ampliar-se o desempenho de disseminação alcançado pelo serviço.

9. Experiência dos proponentes

Luciano Paschoal Gaspary é doutor em Ciência da Computação (UFRGS, 2002) e atua como professor adjunto nas áreas de redes de computadores, segurança, sistemas operacionais e sistemas distribuídos no Departamento de Informática Aplicada do Instituto de Informática da UFRGS. Integra o corpo permanente de docentes do Programa de Pós-Graduação em Computação (PPGC/UFRGS). Além de suas atividades na UFRGS, é bolsista de Produtividade em Pesquisa nível 2 do CNPq, diretor administrativo da Sociedade Brasileira de Computação (SBC) e diretor executivo do Laboratório Nacional de Redes de Computadores (LARC). O Prof. Gaspar desenvolve atividades de pesquisa nas áreas de redes de computadores, gerenciamento de redes e segurança de sistemas computacionais, e vem publicando seus trabalhos em periódicos e conferências de renome internacional tais como o *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, o *Computer Networks Journal* (Elsevier), o *Concurrency and Computation: Practice & Experience* (Wiley), o *Journal of Network and Systems Management* (Springer), o IEEE/IFIP NOMS e o IFIP/IEEE IM. Sua produção ultrapassou a marca de 100 artigos completos publicados em veículos qualificados. Possui um histórico de atuação ativa em suas áreas de pesquisa, caracterizado por: participação em comitês de programa de simpósios importantes, nacionais e internacionais, envolvimento direto com a organização de eventos científicos (e.g., LANOMS 2005, IEEE/IFIP NOMS 2008, SBC SBSeg 2008, IFIP/IEEE IM 2009, IFIP/IEEE DSOM 2009, SBC SBSeg 2009, IEEE/IFIP NOMS 2010, SBC SBRC 2010 e IEEE/IFIP NOMS 2012) e revisão de artigos submetidos a periódicos. Atualmente, integra o corpo editorial do *Springer Journal of Network and Systems Management* (JNSM), do *Wiley International Journal of Network Management* (IJNM) e da Revista Brasileira de Redes de Computadores e Sistemas Distribuídos (RESD). Gaspar tem se destacado, ainda, na formação de recursos humanos e na captação/execução de projetos de pesquisa. Vem orientando teses de doutorado, diversas dissertações de mestrado, monografias de conclusão de cursos de especialização, trabalhos de conclusão de curso de graduação e bolsistas de iniciação científica, bem como

participado de vários projetos, com financiamento de agências de fomento como CNPq e FAPERGS, e de empresas como HP, Digistar e RNP. É consultor "ad hoc" de universidades e órgãos de apoio à pesquisa, incluindo CNPq, FAPERGS e FAPESPA. É membro da SBC, do IEEE e da ACM. O Prof. Gaspar tem boa experiência em trabalhos de PD&I conjuntos com a RNP. No passado recente atuou como coordenador adjunto do GT Unit (Monitoramento do Universo Torrent). Além disso, coordena, de forma bem sucedida, o projeto HYMAN (Gerenciamento de Redes Híbridas e Interação com Usuários), que encontra-se no terceiro ano e tem previsão de término em dezembro. No que se refere à familiaridade do proponente com a temática do projeto, destaca-se sua especialidade em sistemas de compartilhamento de arquivos, em *streaming* e em sistemas par-a-par, com diversas publicações, e orientações em andamento no novo tema ICN.

Marinho Pilla Barcellos recebeu os títulos de Bacharel e Mestre em Ciência da Computação pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul (1989 e 1993, respectivamente) e o título de Doutor em Ciência da Computação pela Universidade de Newcastle Upon Tyne (1998). Em 2003-2004, ele trabalhou em um projeto da Universidade de Manchester e do Laboratório de pesquisa da British Telecom, sobre difusão *multicast* de alto desempenho. Desde 2008, o Prof. Barcellos trabalha na Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), onde atualmente é Professor Adjunto. Ele publicou diversos artigos em importantes periódicos e conferências das áreas de redes de computadores, gerência de redes e serviços, sistemas distribuídos, e segurança da informação, também atuando como membro e coordenador de comitês de programas. Ele é o coordenador da Comissão Especial em Segurança da Informação e de Sistemas Computacionais da Sociedade Brasileira de Computação (CESeg/SBC) entre 2011 e 2012. Ele é membro da SBC, do IEEE e da ACM. Seus interesses incluem segurança de redes par-a-par, virtualizadas e orientadas à nuvem. O Prof. Barcellos possui larga experiência em trabalhos conjuntos com a RNP, em especial na coordenação e na execução de projetos formatados na forma de Grupos de Trabalho. Em sua experiência mais recente, o GT Unit (Monitoramento do Universo Torrent), o projeto chegou até a fase de implantação de serviço pelo CAIS/RNP. Quanto à familiaridade do Prof. Barcellos no tema do projeto, tem reconhecida experiência (amparada em boas publicações) com difusão de conteúdo via *multicast*, sistemas par-a-par e *streaming*. Além disso, vem orientando alunos em torno de problemas associados a ICN, particularmente roteamento e privacidade.

10. Referências

AHLGREN, B. *et al.* A Survey of Information-Centric Networking. *IEEE Communications Magazine*, v. 50, n. 7, p. 26–36, 2012.

AHLGREN, B. *et al.* Design considerations for a network of information. In: CONEXT '08: INTERNATIONAL CONFERENCE ON EMERGING NETWORKING EXPERIMENTS AND TECHNOLOGIES, 2008, Madrid. p. 66:1–66:6.

CISCO. *Cisco Visual Networking Index: Forecast and Methodology, 2010–2015*. 2012. Disponível em:
<http://www.cisco.com/en/US/solutions/collateral/ns341/ns525/ns537/ns705/ns827/white_paper_c11-481360.pdf>.

EUM, S. *et al.* CATT: Potential Based Routing with Content Caching for ICN. In: ICN '12: ACM SIGCOMM INFORMATION-CENTRIC NETWORKING WORKSHOP, 2012, Helsinki. p. 49–54.

GHODSI, A. *et al.* Information-Centric Networking: Seeing the Forest for the Trees. In:

HOTNETS '11: ACM WORKSHOP ON HOT TOPICS IN NETWORKS, 2011, Cambridge. p. 1:1–1:6.

HE, J. *et al.* DaVinci: Dynamically Adaptive Virtual Networks for a Customized Internet. In: CONEXT '08: INTERNATIONAL CONFERENCE ON EMERGING NETWORKING EXPERIMENTS AND TECHNOLOGIES, 2008, Madrid. p. 15:1–15:12.

JACOBSON, V. *If a Clean Slate is the solution what was the problem? Stanford "Clean Slate" Seminar.* Stanford "Clean Slate" Seminar. Fev. 2006

JACOBSON, V. *et al.* Networking Named Content. In: CONEXT '09: INTERNATIONAL CONFERENCE ON EMERGING NETWORKING EXPERIMENTS AND TECHNOLOGIES, 2009, Rome. p. 1–12.

JOKELA, P. *et al.* LIPSIN: Line Speed Publish/Subscribe Inter-Networking. In: SIGCOMM '09: ACM SIGCOMM CONFERENCE, 2009, Barcelona. p. 195–206.

KOPONEN, T. *et al.* A data-oriented (and beyond) network architecture. In: SIGCOMM '07: ACM SIGCOMM CONFERENCE, 2007, Kyoto. p. 181–192.

KUROSE, J. F.; ROSS, K. W. *Computer Networking: A Top-Down Approach.* Tradução. 5. ed. USA: Addison-Wesley Publishing Company, 2009.

LEVIN, D. *et al.* Bittorrent is an Auction: Analyzing and Improving BitTorrent's Incentives. SIGCOMM '08: ACM SIGCOMM CONFERENCE, 2008, Seattle. p. 243–254.

LI, B.; YIN, H. Peer-to-Peer Live Video Streaming on the Internet: Issues, Existing Approaches, and Challenges. *IEEE Communications Magazine*, v. 45, n. 6, p. 94–99, jun. 2007.

PALLIS, G.; VAKALI, A. Insight and Perspectives for Content Delivery Networks. *Communications of the ACM*, v. 49, p. 101–106, 2006.

PSARAS, I.; CHAI, W. K.; PAVLOU, G. Probabilistic In-Network Caching for Information-Centric Networks. In: ICN '12: ACM SIGCOMM INFORMATION-CENTRIC NETWORKING WORKSHOP, 2012, Helsinki. p. 55–60.

SOLLINS, K. R. Pervasive Persistent Identification for Information Centric Networking. In: ICN '12: ACM SIGCOMM INFORMATION-CENTRIC NETWORKING WORKSHOP, 2012, Helsinki. p. 1–6.

TSILOPOULOS, C.; XYLOMENOS, G. Supporting diverse traffic types in information centric networks. In: ICN '11: ACM SIGCOMM WORKSHOP ON INFORMATIONCENTRIC NETWORKING, 2011, Toronto. p. 13–18.

ZHANG, L. *et al.* *Named Data Networking (NDN) project.* 2010. Disponível em: <<http://www.named-data.net/techreport/TR001ndn-proj.pdf>>.

