

Projeto de Desenvolvimento Tecnológico e Extensão Inovadora – DT

Projeto: PEIF: Pesquisa Experimental em Internet do Futuro

Proponente: Michael Anthony Stanton
Departamento da Ciência de Computação – DCC
Instituto de Computação – IC
Universidade Federal Fluminense – UFF
e
Diretoria de Pesquisa e Desenvolvimento – DPD
Rede Nacional de Ensino e Pesquisa – RNP

Data: 18/08/2010

0. Introdução

O problema a ser abordado é como validar uma proposta de arquitetura alternativa para a Internet, que elimine os sérios problemas encontrados na Internet atual.

A criação de arquiteturas alternativas requer grande flexibilidade nestes ambientes, possibilitando a modificação das características da Internet atual. Basicamente, isto implica que a arquitetura alternativa deve ser, pelo menos inicialmente, definida em software, assim se tornando facilmente modificável. Sua validação pode ser realizada usando emuladores, simuladores ou programação do comportamento de elementos de rede.

Supomos que esta validação precisa levar em consideração as características de escala da Internet, que já se tornou uma infraestrutura planetária, com bilhões de usuários. Isto leva ao uso de validação em ambientes experimentais (testbeds) que possam reproduzir estas características.

O primeiro objetivo será, portanto, definir e disponibilizar ambientes experimentais para pesquisa em IF.

Em segundo lugar, dado o tamanho e a importância do resultado, devemos concluir que a busca para uma nova Internet é realmente um dos grandes desafios do nosso tempo. Portanto, é importante engajar muitas pessoas no trabalho. Isto se faz de várias maneiras. Primeiro precisa ser disseminado o conhecimento não apenas sobre os problemas que enfrentamos hoje em função da arquitetura da Internet atual, como a visão que soluções alternativas são possíveis e desejáveis. E que há maneiras de viabilizar a sua procura.

Em terceiro lugar é importante não desprezar o benefício de alianças. O problema é comum, e extrapola grupos e países. Também afeta um recurso comum a todos, que é a comunicação. É preciso trabalhar em consórcio com outros, somando esforços. Que isto vale dentro de um país, na busca de um projeto nacional, é quase ponto pacífico. Mas vai além, pois o problema é global. Em função da própria evolução das redes de comunicação, nunca foi tão fácil efetivamente colaborar à distância.

Evidentemente colaboração requer vontade de ambos lados. Talvez em função de maior esforço para divulgar externamente os avanços internos em

infraestrutura de redes no país, viabilizando cada vez mais colaborações de toda natureza, pode-se observar maior pré-disposição em outros países para aceitar colaboração com projetos brasileiros. Isto parece-nos muito positivo, e deverá ser aproveitado para envolver grupos brasileiros em projetos de ponta em todas as áreas, incluindo de redes.

Com adequado apoio de órgãos nacionais de fomento, públicos e privados, imaginamos ser relativamente simples articular os esforços de interessados espalhados nas diferentes instituições, para juntos colaborar em atividades conjuntas de desenvolvimento de arquiteturas e desenho de redes. Fazendo aliados em iniciativas de ponta em outros países, pode-se colocar os brasileiros entre os atores responsáveis por desenvolver a Internet do Futuro.

O texto que segue detalha o que levou à situação atual da Internet, e ao atual estado de desenvolvimento da Internet (acadêmica) no país. Em seguida se descreve o que tem sido a reação em alguns outros países, face às dificuldades atuais da Internet. A terceira seção descreve iniciativas nacionais desenvolvidas nos últimos anos para servir de base para a procura de alternativas. As seções restantes descrevem várias possibilidades para continuar as atividades em curso.

O proponente se envolve com assuntos de redes acadêmicas desde os anos 1980, quando “descobriu” a Internet lendo artigos como [Jennings 1986]. Dos últimos 25 anos, passou mais da metade em contato com o desenho, implantação e utilização de redes de todas as escalas: campus, metropolitana, regional, nacional e continental. Também passou a lecionar e orientar trabalhos sobre redes, e participar na comunidade nacional de redes e sistemas distribuídos. Como Diretor de P&D da RNP vem promovendo desde 2002 o entrosamento entre esta comunidade e as atividades da RNP através de numerosos projetos. Espera poder repetir este desempenho na área de Internet do Futuro.

1. A Internet, seu sucesso e a crise que se aproxima

A Internet tem sido um estrondoso sucesso em mudar a maneira de conduzirmos nossas vidas, tanto no trabalho como na diversão. Desde a formulação da atual tecnologia Internet Protocol (IP) há quase 30 anos, mudanças incrementais vêm sendo feitas para estender sua aplicabilidade às demandas que resultam de uma população de usuários, recursos informacionais e aplicações, em constante expansão. Os usuários já são bilhões, e a maior contribuição ao tráfego Internet advém de aplicações Web de diversidade crescente.

Boa parte deste sucesso se deve à grande flexibilidade da tecnologia IP, que provê um mecanismo uniforme de transporte fim a fim, independente dos detalhes íntimos dos mecanismos de transporte de baixo nível. Em consequência, vem sendo adotado um número grande e crescente de tecnologias de transporte, para estender tanto a cobertura geográfica como a capacidade de conectividade Internet disponível. Nos últimos tempos, estes passaram a incluir tanto enlaces fixos usando fibra óptica, que permitem o crescimento vertiginoso da capacidade da rede, possibilitando a escalabilidade da Internet de acordo com o aumento da demanda, como também, e em volume sempre maior,

enlaces sem fio, que libera usuários da Internet da dependência em pontos fixos de acesso.

1.1 A Internet no mundo

A Internet nasceu nos EUA em torno de 1980 como projeto de pesquisa que foi financiado pelo Departamento de Defesa (DoD), e os principais características do seu projeto de arquitetura IP foram adotadas neste período, quando o número de participantes era pequeno, todo tráfego era tratado da mesma maneira, todas as redes suportavam pontos fixos de conexão e não foi sequer contemplado o aspecto de segurança. A simplicidade destas suposições viria a causar sucessivos problemas para a tecnologia em anos subsequentes.

Em 1985 a sua tecnologia foi adotada para a nova rede da National Science Foundation (NSF) para interligar as universidades e centros de pesquisa nos EUA, a NSFNET, que foi criada em 1986 [Jennings 1986]. A primeira versão da NSFNET tinha conexões interestaduais modestas, mas cresceu rapidamente durante os próximos três anos com o desenvolvimento de novos roteadores. Acesso às instituições era indireta, usando uma constelação de novas redes regionais, mantidas inicialmente por suas universidades clientes. Estas redes regionais eram interligadas pela NSFNET.

Foi no final dos anos 1980 que se iniciou a adoção da tecnologia IP por outros países, inicialmente por pressão das comunidades acadêmicas, que procuravam melhorar as suas colaborações internacionais. A NSF incentivava a criação de conexões das novas redes IP em outros países (inclusive no Brasil) à NSFNET, assim promovendo a internacionalização da Internet.

Por ser do governo, a NSFNET excluía tráfego comercial, e em 1990 algumas redes regionais, que eram privadas, começaram a se interligar entre si, para prover o primeiro serviço Internet comercial, ou *commodity*, de âmbito nacional nos EUA. Este novo serviço cresceu vigorosamente, especialmente depois da invenção em 1993 de navegadores gráficos para o World Wide Web (WWW), que facilitou imensamente o acesso a informações remotas.

Em 1995, a NSF terminou seu suporte das redes acadêmicas nos EUA, e extinguiu a NSFNET, considerada desnecessária face ao crescimento da Internet commodity. Às universidades foi sugerido procurarem provedores comerciais para atender suas necessidades de conectividade. Sentindo-se mal servidas pelas redes commodity, e procurando ter para seu uso um serviço diferenciado, várias universidades resolveram em 1996 criar um consórcio, chamado Internet2. Este consórcio em seguida construiu com recursos próprios a nova rede nacional Abilene, que efetivamente veio a preencher o papel antes exercido pela NSFNET. Característica importante da fase Internet2 foi prover serviço de rede com melhor qualidade que as redes commodity. Desde 2007, a Internet2 Network é o nome usado pela rede do consórcio Internet2.

A Internet não comercial nos EUA hoje conta com outras redes de alcance nacional: a National Lambda Rail (NLR), formado por outro consórcio de entidades da comunidade acadêmica e suas redes regionais, a NASA Science

Internet (NSI) e a Energy Sciences Network (ESnet), ambas estas mantidas pelo governo dos EUA.

Iniciativas Internet continuaram em muitos outros países ao redor do mundo. As redes commodity em diferentes países passaram a fazer parte da Internet global. Quando existia uma rede acadêmica também, esta passou a procurar integrar-se também à Internet acadêmica internacional, da qual a rede do consórcio Internet2 era o componente mais destacado. O grande crescimento das redes acadêmicas na Europa e no leste da Ásia, especialmente, tem dado contraponto às redes dos EUA, e os EUA não são mais o centro das redes em nível mundial, embora continuam a exercer forte papel de liderança e influência.

Hoje a Internet é uma infraestrutura global. Existe a Internet commodity, composta pelos provedores comerciais e suas interconexões, e uma Internet de colaboração, unindo as redes acadêmicas com suas interconexões, que são próprias. Tráfego de colaboração entre parceiros em redes acadêmicas em países distintos permanece dentro da Internet de colaboração, não utilizando a Internet commodity.

A Internet de colaboração também suporta experimentação, por dispor de recursos de banda suficientes para permitir dedicar uma parte para atividades experimentais. Um grande exemplo é a colaboração Global Interactive Lambda Facility (GLIF), com mais de 50 participants, que está sendo usado hoje para suporte de colaboração internacional no desenvolvimento e uso de novos serviços e aplicações de rede, baseados em "lightpaths" (circuitos virtuais fim a fim) [GLIF 2009].

1.2 A Internet no Brasil

A participação do Brasil na Internet foi primeiro discutido abertamente em 1987, numa reunião na USP que reuniu 38 pessoas de 12 universidades e centros de pesquisa, Embratel, SERPRO, FAPESP, CNPq e a então Secretaria de Informática (SEI), hoje a SEPIN/MCT [Stanton 1987]. Nesta data, ainda inexistia interconexão fácil entre as novas redes das instituições acadêmicas nacionais e seus pares no exterior, e a comunicação passava pelo correios e, raramente, por telefone. Esta reunião teve duas consequências importantes. A primeira foi a liberação do uso de conexões dedicadas para ligar redes no Brasil a seus semelhantes no exterior. A segunda foi a criação em 1989 do projeto Rede Nacional de Pesquisa (RNP) pela então Secretaria de Ciência e Tecnologia (hoje Ministério).

Entre 1988 e 1989 foram instaladas três conexões internacionais do Brasil, respectivamente do LNCC, da FAPESP e da UFRJ, para a rede BITNET nos EUA, cujo principal serviço era de correio eletrônico. As primeiras duas conexões possibilitaram criar uma rede de âmbito nacional de tecnologia BITNET com acesso ao exterior [Stanton 1993]. O Brasil entrou efetivamente na Internet em 1992, com o início das operações da RNP, ligando 11 cidades, e das

redes estaduais no Rio de Janeiro (Rede-Rio) e em São Paulo (ANSP), ambas com sua própria conexão Internet aos EUA [Stanton 1993].

Como a NSFNET, as primeiras redes Internet no Brasil não admitiam tráfego comercial. A Internet comercial no Brasil começou efetivamente em 1995, junto com a criação do Comitê Gestor Internet (CGI-br), uma entidade público-privada criada para disciplinar seu desenvolvimento. Atendimento à demanda reprimida logo fez crescer a Internet no Brasil até ser uma das 12 maiores no mundo em número de entidades servidas. Participou a RNP na Internet comercial entre 1995 e 1999, quando voltou a atender exclusivamente a comunidade acadêmica nacional.

Em 2000, a RNP (agora Rede Nacional de Ensino e Pesquisa) lançou sua rede RNP2, que ligou-se à rede Abilene do Internet2 em 2001. Assim passou a participar na Internet de colaboração. Desde então a RNP mantém duas conexões internacionais para manter separados os fluxos de colaboração e commodity. O desenvolvimento da RNP até os dias de hoje é descrito em [Stanton 2010].

1.3 A crise da Internet que se aproxima

Apesar de todo o sucesso da Internet, a tecnologia básica IP é a causa das suas próprias limitações, que se tornam cada vez mais evidentes. A noção central de “tamanho único”, que requer tratamento idêntico para todos os fluxos de informação na Internet ao nível do pacote IP, não é desejável e nem necessariamente econômica, especialmente quando certas classes de aplicação, tais como de média interativa ou de acesso remoto a instrumentos científicos, requerem garantias de qualidade de serviço (QoS) desnecessárias para a maioria de outras aplicações.

Nos últimos anos, vem sendo adotadas novas abordagens nas chamadas redes híbridas, onde certas classes de aplicação de grande largura de banda utilizam circuitos virtuais fim a fim dedicados (ou “lightpaths”), evitando totalmente os roteadores IP normalmente responsáveis para o manuseio intermediário de pacotes IP. A colaboração GLIF permite estender estes circuitos virtuais entre países distintos.

Foram apontadas sérias limitações tanto no esquema usado para identificar as pontas finais de conectividade Internet. Há muito sabe-se que o endereçamento IPv4 é inadequado para escalar ao tamanho atual da Internet sem abandonar suposições fundamentais, como identificadores únicos universais, e que existem problemas com o Domain Name System (DNS), usado para traduzir nomes “amigáveis” em identificadores na rede.

O aumento do número de usuários móveis, que cria desafios para a apresentação de dados nas suas plataformas limitadas, requer também um equilíbrio melhor entre a transparência (dada por IP Móvel) e consciência de mobilidade (requerida para melhor desempenho de aplicações).

Finalmente, existem sérios problemas de segurança, perversivos em suas manifestações, dando a oportunidade para todo tipo de atividade insidiosa, variando de irritantes como correio eletrônico não solicitado (“spam”) a sérios crimes envolvendo roubo de identidade ou pior.

Nos últimos anos, vêm sendo aplicados à arquitetura original da Internet uma série de modificações pontuais ou “remendos”, para atender as limitações encontradas. Entre os remendos podem ser mencionados Classless Internet Domain Routing (CIDR), Network Address Translation (NAT), Serviços Integrados (intserv), Serviços Diferenciados (diffserv), IP Seguro, IP Móvel, “firewalls” e filtros de spam, para citar apenas os mais conhecidos. Cada um destes remendos aumenta a complexidade (“entropia”) da arquitetura, resultando em uma descrição desta arquitetura que pode passar de 6.000 documentos na série Request For Comments (RFC) ainda neste mês de agosto de 2010 [IETF 2010]. Uma consequência direta é o aumento correspondente da complexidade e custo de roteadores, os equipamentos de rede fundamentais para a gestão da Internet.

Há um entendimento crescente entre pesquisadores em redes que soluções para muitos destes problemas, senão a maioria deles, dependerão de um redesenho fundamental da atual arquitetura da Internet, baseada em IP, e um dos principais objetivos da atividade conhecido como Internet do Futuro (IF) é a formulação e avaliação de arquiteturas alternativas para substituir IP.

Há várias razões para a importância do estudo de arquiteturas alternativas para a IF, entre as quais podemos citar a crença comum na eficácia deste estudo para encontrar soluções para muitos dos problemas que afetam uso da Web, e o benefício potencial de encontrar uma solução geral para estes problemas.

2. Iniciativas em Internet do Futuro

É relevante observar que já começou a procura de soluções alternativas em algumas partes do mundo. As primeiras iniciativas vieram dos EUA, Japão e União Europeia, e são resumidas a seguir.

2.1 EUA

Nos EUA, foi lançado em 2005 pela National Science Foundation (NSF) o programa Global Environment for Network Innovations (GENI), que já realizou muitas das preparativas para conduzir pesquisas experimentais em arquiteturas de rede alternativas [GENI 2009].

Uma dificuldade grande ao conduzir pesquisa experimental em arquiteturas de redes é conseguir acesso a redes de comunicação de verdade, para modificar sua forma de funcionar. É natural que os responsáveis pela operação destas redes farão objeção à experimentação desta natureza em suas redes de produção. Uma solução genial a este problema foi proposta há alguns anos por Larry Peterson, da Universidade de Princeton, que criou o PlanetLab [Peterson 2002]. PlanetLab permite experimentação em larga escala de novas

aplicações na Internet atual, usando um laboratório distribuído do tamanho do mundo, composto de um grande número de nós PlanetLab, implementados em computadores pessoais (PCs) de custo baixo, que estão interligados por uma rede de sobreposição por cima da Internet. Os nós podem ser compartilhados por diferentes usuários usando técnicas de virtualização. Um usuário autorizado pode compor uma aplicação distribuída sobre TCP/IP, usando componentes da aplicação executando em ambiente Linux dedicado, onde o software é carregado em uma máquina virtual em múltiplos nós da rede. O conjunto das máquinas virtuais usadas é chamado de uma fatia [PlanetLab 2009].

Mais recentemente, a abordagem PlanetLab foi adaptada ao estudo de arquiteturas de rede no projeto VINI [Bavier 2006], e influenciou muito o desenvolvimento do GENI. Em VINI, é possível experimentar com novos protocolos de rede (camada 3), e os nós da rede usam conexões virtuais de camada 2.

Outra contribuição importante ao GENI é Emulab da Universidade de Utah [White 2002], que permite que o pesquisador tenha acesso a uma gama larga de alternativas para desenvolver, depurar e avaliar seus sistemas. Emulab provê um ambiente experimental que permite que o pesquisador possa configurar e fazer acesso a redes compostas de nós e enlaces, que podem ser emulados, simulados ou reais. Isto permite maior grau de controle das condições da rede e seu tráfego, do que numa rede real. Há múltiplas instâncias de Emulab no mundo, com 18 nos EUA, 1 no Canadá, 3 na Europa, 4 na Ásia e 1 na Universidade de São Paulo [Emulab 2010].

GENI reconhece a grande importância de redes experimentais (“testbeds”) para realizar P&D em arquiteturas IF. Uma rede experimental é uma plataforma para experimentação, que permitem a validação rigorosa, transparente e replicável de teorias científicas, ferramentas computacionais e outras tecnologias. Na fase inicial de GENI, boa parte da discussão técnica estava concentrada no desenho da GENI Facility, uma rede experimental de âmbito nacional (e, futuramente, internacional), a ser usada em experimentos com as arquiteturas sob estudos [GENI Design 2007].

A GENI Facility é uma grande conjunto de nós em rede, onde os nós reúnem capacidades computacional, de armazenamento e de comutação, em qualquer combinação. Os nós estão ligados em rede, e técnicas de virtualização são usadas para compartilhar estas capacidades entre diferentes usuários, de modo a permitir a coexistência pacífica de diferentes experimentos. Adicionalmente, os nós estão instrumentados para permitir realizar medições de desempenho, ativos e passivos, do uso das capacidades alocados. O GENI Facility é extensível, permitindo a incorporação de novos recursos, e a federação com outras iniciativas semelhantes.

Desde 2008, o GENI avançou para a fase de implantação da GENI Facility, iniciando-se com o desenvolvimento de diversos “Control Frameworks”, que permitem a gestão da GENI Facility, possibilitando o compartilhamento ordeiro dos recursos disponíveis. Foram aprovados para uso

até o momento os Control Frameworks PlanetLab GENI, ProtoGENI and ORCA GENI [GENI Control 2010].

GENI decidiu concentrar-se em duas tecnologias de rede: redes ópticas e WiMax. Para ambos é necessário adotar alguma plataforma programável de comutação. Como mencionado acima, uma alternativa para a primeira seria uso de VINI. Entretanto, o uso de PCs como roteadores implica em severas limitações de desempenho e outras soluções vêm sendo investigadas.

O grupo de Nick McKeown da Stanford University já fez duas contribuições importantes para a construção de roteadores programáveis. O NetFPGA é uma placa com quatro portas de Gigabit Ethernet e coprocessamento, para PCs. O objetivo é aumentar o desempenho e, portanto, a utilidade de PCs como comutadores e roteadores programáveis [Lockwood 2007].

A arquitetura OpenFlow [McKeown 2008] é uma abordagem completamente inovadora para a construção de elementos de rede. Nela o equipamento tem poucas funções básicas, e para cada pacote de ingresso, o tratamento é determinado pelo casamento dos dados iniciais do pacote (efetivamente os cabeçalhos das camadas 2, 3 e 4) com padrões armazenados numa memória associativa. Com isto, tem pouco processamento a fazer, e o desempenho do equipamento é alto. A memória associativa é carregada a partir de uma controladora externa, que também pode ser invocada para processar pacotes selecionados. O elemento de rede é programável através da sua controladora. A arquitetura foi estendida ainda para permitir a virtualização do elemento de rede, através do software Flowvisor. Nesta combinação OpenFlow se tornou um dos principais componentes das redes programáveis empregadas na GENI Facility.

Participam no suporte do GENI as redes Internet2 e NLR, que cederam generosa capacidade para montar a rede de sobreposição GENI. Os nós da GENI Facility estão colocados nos nós de comutação das redes subjacentes, bem como em campi de muitas universidades que participam do GENI.

2.2 *Japão*

AKARI é um grande projeto no Japão para desenhar a Internet do Futuro, que pretende construir tecnologias para uma rede de nova geração até 2015, desenvolver uma arquitetura e desenhar uma rede baseada nesta arquitetura. A abordagem é de procurar uma solução ideal, sem ser condicionado por restrições da Internet atual. O projeto de desenho da arquitetura iniciou-se em 2006, uma visão parcial do progresso está disponível em [AKARI 2008].

2.3 *União Européia*

Em 2008, a Comissão Européia (CE) deu partida a sua iniciativa Future Internet Research and Experimentation (FIRE), com a seleção de 14 projetos para financiamento [FIRE 2009], e novo crescimento da iniciativa já foi

anunciada para 2011-12. Em FIRE, 11 dos 14 projetos originais envolviam redes experimentais [FIRE Testbeds 2010], incluindo três grandes projetos que já haviam começado antes de 2008: OneLab, PanLab e Phosphorus. Destes projetos, OneLab é uma versão europeia de PlanetLab, com várias extensões, posteriormente retro-aplicadas à versão norteamericana, PanLab é um projeto das empresas de telecomunicações, unindo seus esforços na área de experimentação, e Phosphorus se dirige à provisão de serviços de rede para usuários de grades, fazendo com que a rede se torna um recurso do usuário, da mesma forma que processamento, armazenamento e instrumentação.

A abordagem europeia de apoiar múltiplos projetos separados, comparada com a norteamericana, que concentra seus esforços num grande projeto nacional integrado, mostra outra maneira de fomentar esforços da comunidade de P&D. Havendo muito mais variedade, existe um trabalho adicional de promover a federação (interoperação) das diferentes iniciativas, para que estas possam ser desfrutadas mais amplamente. Isto fica mais fácil na abordagem norteamericana, que começou com a definição de estruturas de controle (Control Frameworks), antes de iniciar os trabalhos de implementação dos experimentos.

3. Rede experimentais (testbed networks) no Brasil

A característica principal da rede de tecnologia Internet era que sempre servia para prestar serviços e para sustentar experimentos, pois existe uma única rede para tudo. Estes experimentos eram e são conduzidos pelos usuários, e tipicamente envolvem a elaboração de novos serviços distribuídos. Desde que não interfiram com a prestação dos serviços comuns (correio, Web, etc.) são tolerados. O uso de tunelamento de protocolos, onde um protocolo de rede de camada 3, ou até de camada 2, é “empacotado” em pacotes IP, que transitam normalmente na Internet, permite construir redes de sobreposição de diferentes topologias e tecnologias. Estas alternativas vêm a ser usadas, por exemplo, em sistemas como o PlanetLab e VINI, mencionados na seção 2.1.

Tais abordagens de experimentação vêm sendo usadas no Brasil. PlanetLab foi primeiro introduzido ao Brasil pelo prof. Dorgival Guedes da UFMG em 2004, e a partir de 2005, a RNP instalou e vem mantendo vários nós deste sistema global.

A criação de redes experimentais dedicadas requer recursos distintos dos usados para as redes de serviço. A partir de 1997, a RNP implantou 14 redes metropolitanas ópticas para possibilitar experimentos usando a tecnologia ATM e taxas de transmissão até 155 Mbps, quando as conexões interurbanas da RNP não excediam 4 Mbps. As fibras ópticas usadas foram emprestadas por empresas de telecomunicações (ainda na fase estatal) ou por empresas de TV a cabo. Estas Redes Metropolitanas de Alta Velocidade (ReMAV) foram as primeiras redes experimentais dedicadas usadas pela comunidade de P&D em redes, envolvendo múltiplas instituições [ReMAV 2002]. Em algumas cidades, por exemplo, Curitiba, Rio de Janeiro e São Paulo, a infraestrutura de fibras

utilizada nas ReMAV continuam servindo hoje para prestar serviços de conectividade à comunidade acadêmica.

Desde o ano 2000, houve várias novas iniciativas que criaram redes experimentais no país, que são descritas abaixo.

3.1 Projeto GIGA

Projeto GIGA, de experimentação em tecnologias e aplicações de redes ópticas, é uma parceria entre a RNP e o CPqD, e recebeu financiamento entre 2002 e 2007 do Funttel para construir e operar uma rede óptica interurbana entre as cidades de Campinas e Rio de Janeiro, atendendo também a São Paulo, São José dos Campos, Cachoeira Paulista, Niterói e Petrópolis. As fibras ópticas usadas foram emprestadas por empresas de telecomunicações (já privadas). Usando equipamentos desenvolvidos pela empresa brasileira, Padtec, em 2004 foi montada uma rede interurbana DWDM ligando as primeiras quatro cidades mencionadas, com acesso a mais de 20 instituições através destes pontos de presença usando tecnologia de camada 2 (Ethernet). A rede experimental foi usada para validação de novos equipamentos, e para desenvolvimento e validação de aplicações [Scarabucci 2005].

Os programas de P&D da RNP e do CPqD foram realizados independentemente. Um relato quase final de P&D coordenado pela RNP aparece em [Giga 2007]. Também funciona para realizar experimentos internacionais, como a participação de grupos de física de altas energias em demonstrações de capacidade de transmissão de dados na conferência Supercomputing realizada anualmente nos EUA.

Uma segunda fase do projeto GIGA começou em 2009, usando a mesma infraestrutura de fibras ópticas, e é descrita abaixo na seção 3.4.

3.2 Projeto TIDIA/KyaTera

A iniciativa Tecnologia da Informação no Desenvolvimento da Internet Avançada (TIDIA) começou em 2001, com apoio da Fapesp. Depois de dois anos de discussões teve lançamento oficial de 3 subprogramas, um dos quais era uma rede experimental, posteriormente chamado KyaTera. Em 2007 foi entregue a rede KyaTera, com uma infraestrutura de fibra óptica, cedida por uma empresa de telecomunicações, interligando a Unicamp aos campi da USP em São Paulo e São Carlos, com acessos a outras cinco cidades. Esta rede serviria para experimentação com tecnologias ópticas, bem como aplicações. Para prover serviço de rede às aplicações, foi criada a rede "estável", usando tecnologias de camadas 2 e 3.

3.3 RNP

A RNP estabeleceu sua conexão internacional à Internet de colaboração em 2001, através de enlace a Miami. Isto complementou outra ligação à Internet commodity nos EUA por meio de enlace dedicado, dando uma capacidade total de 200 Mbps. Desde então vêm aumentando as capacidades da sua rede

interurbana, e das conexões internacionais. Alguns pontos importantes ao longo dos últimos dez anos incluem:

- 2004: fim da conexão aos EUA para Internet de colaboração, e sua substituição pelo uso da Rede Clara, rede acadêmica latino-americana com ligação à rede pan-européia, Geant, financiada em boa parte pela CE através do projeto ALICE [Stöver 2003][Stöver 2010];
- 2005: início de compra de serviço commodity no Brasil, ao invés dos EUA;
- 2005: Rede Ipê (backbone nacional), com introdução de nova tecnologia óptica (“lambdas”) em enlaces interurbanos (10 capitais), com capacidades de 2,5 e 10 Gbps;
- 2005: novo enlace São Paulo-Miami, compartilhado com ANSP (rede estadual de São Paulo), financiado pela NSF e Fapesp através do projeto WHREN-LILA;
- 2005: início da construção de redes metropolitanas ópticas para acesso à rede Ipê nas capitais (projeto Redecomep) [Stanton 2005];
- 2009: (junto com ANSP) fim da compra de serviço commodity no Brasil, e retorno à compra de enlaces internacionais para os EUA, compartilhados entre tráfego de colaboração e commodity;
- 2010: (previsto) grande aumento de capacidade da Rede Ipê, estendendo conexões 10 Gbps para 14 capitais e 3 Gbps para mais 10 [Stanton 2010].

Esta evolução vigorosa das redes da RNP traz uma mudança de paradigma de gestão do serviço IP da RNP, mudando do ajuste incremental de banda das conexões, para evitar mais que 80% de ocupação dos enlaces, para o sobreaprovisionamento de banda, onde abundância de banda é a característica mais notável. Esta nova abordagem, além de evitar a necessidade de sistema complexo para garantia de qualidade de serviço (QoS), pois tende a eliminar congestionamento. Possibilita novas aplicações antes impossíveis por insuficiência de banda. Como exemplos, citamos o evento SC09 (Supercomputing 2009), onde foi demonstrado transferência sustentada a 8,1 Gbps entre São Paulo e Portland, OR, EUA, e o evento FILE2009, onde foram realizadas a transmissão de cinema digital 4K de São Paulo para EUA e Japão (400 Mbps) e uma videoconferência HD entre São Paulo e Japão (900 Mbps) [Margolis 2010].

Estas aplicações todas utilizaram novo serviço de “lightpaths”, ou circuitos virtuais de camada 2, dentro da infraestrutura da Internet de colaboração. Este serviço novo, que nasceu e cresceu com a colaboração Glif, já citada na seção 1.1. Hoje boa parte das redes mais importantes é de arquitetura híbrida, oferecendo tanto serviço de pacotes IP, como de lightpaths. É a direção também adotada nas redes brasileiras, onde lightpaths internacionais são usados desde 2005 em diferentes aplicações experimentais.

Outra consequência importante é a possibilidade de uso de uma fração considerável desta capacidade para experimentação com tecnologia de redes, ou seja da criação de uma rede experimental usando a mesma infraestrutura que a rede de serviço. Em 2011 pretende-se criar esta infraestrutura para apoiar projetos de Internet do Futuro na RNP (veja seção 3.4).

3.4 Iniciativas em Internet do Futuro

Descreveu-se na seção 2 o interesse em vários países em criar iniciativas de P&D em Internet do Futuro (IF). Estas iniciativas acabam tendo ressonância aqui no país, pela importância potencial do tema, tanto para o próprio uso da Internet, como pelas oportunidades de contribuir ao desenho e implantação desta nova Internet, inclusive com o envolvimento do setor produtivo nacional.

Em 2008, o projeto franco-brasileiro Horizon, que objetiva definir uma nova arquitetura para a Internet, baseada em redes virtuais, foi selecionado para financiamento numa colaboração bilateral França-Brasil, onde os recursos brasileiros advêm do Funttel. Do lado brasileiro, o projeto é coordenado da UFRJ, e inclui pesquisadores da PUC-Rio e Unicamp. Começou o projeto efetivamente em 2009 [Horizon 2009].

Em 2008, entre os projetos selecionados para financiamento pelo CNPq no programa Institutos Nacionais de Ciência e Tecnologia (INCT) estava o INCT Web Science, com um grupo grande de pesquisadores de várias universidades brasileiras, sendo as maiores participantes a UFRJ, PUC-Rio, Unicamp e UFF [WebSci 2010]. Uma das subáreas do projeto é Arquiteturas da Internet do Futuro, da qual participam atualmente pesquisadores de 5 universidades e da RNP, e que pretende desenhar e montar uma infraestrutura experimental para validar propostas de IF [WebSciFIA 2010]. O projeto começou efetivamente em 2010, devido ao atraso na liberação de recursos, e o subprojeto de IF está atualmente em fase de aquisição de equipamentos.

A primeira fase de financiamento do projeto GIGA terminou em 2007, e foram encaminhados para o Funttel propostas para uma segunda fase, tanto pelo CPqD, como pela RNP. A proposta da RNP já propôs reorientar P&D para arquiteturas de rede, e a rede experimental para incorporar algumas das características de programabilidade já em discussão para o projeto GENI nos EUA, como descrito na seção 2.1. Adicionalmente, a RNP propôs usar capacidade da rede Ipê para estender a cobertura da rede experimental. A proposta do CPqD em 2007 ainda não mencionou a IF.

Acabou não sendo aprovada pelo Funttel a proposta da RNP, e do CPqD foi aprovada parcialmente, mas recursos somente foram liberados em 2009. Durante o interstício entre os dois períodos de financiamento, foi mantida operacional a rede experimental com recursos próprios, principalmente do CPqD. Com a entrada de novos recursos em 2009, já se iniciou a renovação da infraestrutura da rede. Em 2009, iniciou-se uma convergência entre as visões da RNP e o CPqD sobre o futuro da rede experimental GIGA e sua extensão usando a rede Ipê, para criar uma infraestrutura experimental de grande cobertura, que pudesse interoperar (ou se federar) com as iniciativas de rede experimental para IF que começavam a se concretizar em vários países no exterior (vide seção 2.1). Em função disto foram feitos contatos com diversos projetos no exterior, dos EUA e da Europa, para explorar estas possibilidades.

Ao mesmo tempo, o CPqD realizou em 2009 dois encontros sobre o Futuro da Internet, convidando ao segundo encontro coordenadores ou

participantes em vários projetos internacionais (GENI, OneLab, Federica, Akari) [CPqD 2009][Tronco 2010]. Por seu lado, a RNP participou ativamente num papel de assessoria à SEPIN/MCT nas discussões com a CE sobre aprofundamento do envolvimento de instituições brasileiras em projetos consorciados de P&D do 7º Programa Quadro (FP7) da Sociedade de Informação da CE. Um resultado concreto destas discussões será o lançamento conjunto em setembro de 2010 de editais de chamadas coordenadas de projetos em cinco áreas de tecnologias de informação e comunicação (TIC), das quais duas relacionadas à IF: Segurança e Recursos experimentais.

A RNP e o CPqD estão atuando em conjunto na busca de inserção em atividades de IF no país e internacionalmente. Assinaram memorando de entendimentos com o projeto GENI para compartilhar infraestruturas experimentais entre EUA e Brasil, e participaram em três propostas de projetos para o "Spiral 2" do GENI em 2009, das quais foi aprovado o projeto PrimoGENI da Florida International University (FIU) [PrimoGENI 2010]. Estabeleceu diálogo com o grupo OpenFlow de Stanford University, cuja tecnologia de redes programáveis ("software defined networks") parece ser um bom candidato para a próxima versão da rede experimental do GIGA. Este diálogo resultou na organização conjunto do 1º Workshop em Pesquisa Experimental na Internet do Futuro (WPEIF), realizado dentro do evento Simpósio Brasileiro de Redes de Computadores em maio de 2010, em Gramado, RS [WPEIF 2010a] [WPEIF 2010b]. Neste evento de dois dias, um dia inteiro foi dedicado a um tutorial "hands-on" em tecnologia OpenFlow, conduzido por dois membros da equipe de Nick McKeown da Universidade Stanford.

4. Objetivos deste projeto

Como mencionado na Introdução, este plano de trabalho tem vários objetivos:

1. definir e disponibilizar ambientes experimentais para pesquisa em IF;
2. disseminar conhecimento sobre IF: porquê o problema é importante, e como o uso das redes experimentais fazem uma contribuição necessária;
3. articular alianças entre grupos de pesquisa no país, e com eventuais parceiros no exterior.

5. Metodologia e atividades

Para cada um dos objetivos enumerados na seção anterior, há maneiras to alcançá-lo.

Objetivo 1

- 1.1 Caracterização de tecnologias apropriadas:
Um ambiente de rede experimental requer certa escolha das tecnologias a serem adotadas. Aqui se pretende caracterizar fatores importantes, inclusive tecnologias de programação de redes, virtualização de redes e nós, emulação, simulação, instrumentação e gerenciamento. Em boa parte, isto será decorrente de revisão das experiências de terceiros na

montagem das suas soluções. Tem muito material a examinar, especialmente do projeto GENI, talvez a mais bem documentado entre os existentes.

- 1.2 Identificação de melhores práticas:
Se fará uma investigação da documentação e, se possível, observar a utilização de ambientes experimentais existentes para caracterizar sua maneira de uso e como são mais eficientemente empregados por seus usuários.
- 1.3 Avaliação teórica e experimental de alternativas:
Baseado em documentação e, onde possível, experimentação, avaliar a funcionalidade de ambientes experimentais existentes.
- 1.4 Instrumentação de ambientes experimentais:
Utilizando experiências da instrumentação moderno para avaliação de desempenho de redes de serviço (v., por exemplo, [perfSONAR 2009]), avaliar a natureza e forma de instrumentar apropriadamente um ambiente de rede experimental.
- 1.5 Construção e disponibilização de ambiente experimental:
Aproveitando os recursos físicos disponíveis (rede experimental GIGA, rede experimental na infraestrutura RNP), equipamentos especializados adquiridos, e com adoção de tecnologia de ambiente experimental, montar um ambiente experimental para P&D em IF, e procurar federá-lo com outras iniciativas nacionais e internacionais. Antecipa-se duas fases: (1) piloto, com recursos e serviços mais rudimentares, e (2) serviço, com características mais bem acabadas.

Objetivo 2

- 2.1 Disseminação na minha universidade:
Organizar cursos e seminários sobre a IF e ambientes experimentais, por exemplo [Stanton 2009].
- 2.2 Disseminação na comunidade acadêmica nacional:
Organizar eventos, como [WPEIF 2010a][WPEIF 2010b], participar em eventos [CPqD 2009], publicar artigos e relatórios técnicos.
- 2.3 Disseminação internacional:
Realizar apresentações nas GENI Engineering Conferences (GEC), eventos Glif e outros semelhantes. O workshop anual da Glif em 2011 será realizado no Rio de Janeiro, e organizado pela RNP.

Objetivo 3

- 3.1 Articulação de acordos de cooperação com outras iniciativas:
Organizar e participar em fóruns especializados, estar atento a oportunidades para financiar projetos consorciados, especialmente no grande programa europeu, FP7-FIRE [FIRE 2008], promover atividades de intercâmbio com outras iniciativas.

Cronograma de atividades

É difícil ser muito preciso aqui, por várias razões, pelo menos na consecução dos objetivos 2 e 3, pois estas atividades já vêm sendo realizadas ultimamente, e deverão continuar a ser realizadas continuamente, aproveitando de oportunidades apresentadas e identificadas.

Quanto ao objetivo 1, será possível organizar melhor as atividades, pois sua ordem seguirá a sequência lógica descrita acima. Poderemos descrever então o cronograma aproximado para 3 anos:

Item	Semestre 1	Semestre 2	Semestre 3	Semestre 4	Semestre 5	Semestre 6
1.1	X	X				
1.2		X	X			
1.3		X	X			
1.4		X	X	X		
1.5 piloto	X	X				
1.5 serviço			X	X	X	X
2	X	X	X	X	X	X
3	X	X	X	X	X	X

6. Resultados pretendidas

Ao longo do projeto, pretende-se alcançar o objetivo de montar, disponibilizar e atrair membros da comunidade de P&D em redes para um ambiente experimental em IF no país, para realizar pelo menos uma parte do seu trabalho.

Entretanto, acreditamos que uma iniciativa deste tipo precisa agir como um fator multiplicador de atividade nesta área, com grandes desdobramentos nacionais e internacionais. O sucesso desta multiplicação de esforços poderá ser medido pelo acerto ou não dos seguintes alvos:

- criação de uma grande iniciativa de desenvolvimento de arquiteturas e desenho de redes no país;
- colocação do Brasil entre os atores responsáveis por desenvolver a Internet do Futuro.

Se forem alcançados estes alvos, será mérito dos outros participantes que teriam contribuído com seu conhecimento, esforço e entusiasmo.

7. Outros recursos e colaborações

Para a execução deste plano de trabalho, será possível contar com recursos já assegurados, pelo menos para o futuro previsível, de outros projetos em que o proponente participa, através da UFF ou da RNP. Estes incluem:

- INCT WebScience, financiamento CNPq [WebSci 2010]
- Projeto RedeH, financiamento MCT (fundos setoriais) à RNP, responsável para custear atividades nas iniciativas Projeto GIGA, FuturaRNP e Internet do Futuro, que fazem parte do Plano de Ação da RNP

Recursos humanos adicionais poderão vir de membros da equipe da Diretoria de P&D da RNP, que participam nos projetos acima, bem como de alunos da UFF.

O projeto INCT WebScience envolve a colaboração direto de Iara Machado, Diretora Adjunta de Internet Avançada na RNP, e dos professores Antônio Abelém (UFPA), José Augusto Suruagy Monteiro (Unifacs), Luiz Claudio Schara Magalhães (UFF) e Tereza Carvalho (USP), bem como alguns dos seus alunos.

O projeto GIGA envolve a colaboração de Marcos Rogério Salvador e Alberto Paradisi, respectivamente gerente e diretor do CPqD.

8. Referências Bibliográficas

- [AKARI 2008] AKARI project (2008), “New Generation Network Architecture: AKARI Conceptual Design” (ver1.1), http://akari-project.nict.go.jp/eng/concept-design/AKARI_fulltext_e_preliminary.pdf, acesso em 15/12/2009.
- [Bavier 2006] Bavier, A. et al. (2006), “In VINI Veritas: Realistic and controlled network experimentation”, In: Proc. ACM SIGCOMM, Setembro 2006.
- [CPqD 2009] International Workshop: New Architectures for Future Internet, Campinas, SP, outubro 2009, <http://www.cpqd.com.br/futurodainternet/index.html>, acesso em 17/8/2010.
- [Emulab 2010] Emulab: total network testbed, <http://www.emulab.net/index.php3?stayhome=1>, acesso em 17/8/2010.
- [FIRE 2010] Future Internet Research and Experimentation, <http://cordis.europa.eu/fp7/ict/fire/>, acesso em 17/8/2010.
- [FIRE Testbeds 2010] FIRE testbed projects, http://cordis.europa.eu/fp7/ict/fire/test-beds-projects_en.html, acesso em 17/8/2010.
- [GENI Control 2010] Control Frameworks, <http://groups.geni.net/geni/wiki/GeniControl>, acesso em 15/8/2010.
- [GENI Design 2007]. GENI Old Design Documents, <http://groups.geni.net/geni/wiki/OldGPGDesignDocuments>, acesso em 15/8/2010.
- [GENI 2009] Global Environment for Network Innovations, <http://www.geni.net/>, acesso em 15/12/2009.
- [GIGA 2007] R&D Workshop for Project GIGA/RNP, September 2007, LNCC, Petrópolis, RJ, Brazil. Conference agenda and record available at <http://indico.rnp.br/conferenceDisplay.py?confId=33>, acesso em 13/12/2009.
- [GLIF 2009] <http://www.glif.is/>, acesso em 15/12/2009.
- [Horizon 2009] Horizon Project: A New Horizon to The Internet, <http://www.gta.ufjf.br/horizon/>, acesso em 17/8/2010.
- [IETF 2010] Index to RFCs, <http://www.ietf.org/download/rfc-index.txt>, acesso em 16/8/2010.
- [Jennings 1986] Jennings, D.M., Landweber, L.H., Fuchs, I.H., Farber, D.J. e Adrion, W.R., “Computer Networking for Scientists”, Science, Vol. 231, p. 943-950, 28 fevereiro 1986.
- [Lockwood 2007] J. W. Lockwood, N. McKeown, G. Watson, G. Gibb, P. Hartke, J. Naous, R. Raghuraman and J. Luo, “An Open Platform for Gigabit-rate Network Switching and Routing,” in Proc. Int’l Conf. Microelectronic System Education (MSE’2007), San Diego, CA, Jun. 2007, pp. 160-161.
- [Margolis 2010] Margolis, T. et al., “Tri-Continental Premiere of 4K Feature Movie via Network Streaming at FILE 2009”, 2010, accepted for publication in Future Generation Computing Systems.
- [McKeown 2008] McKeown, N. et al. (2008), “OpenFlow: Enabling Innovation in Campus Networks”, In: ACM SIGCOMM Computer Communication Review, Vol 38, Number 2, April 2008, p. 69-74.
- [PanLab 2009] <http://www.panlab.net/>, acesso em 15/12/2009.
- [perfSONAR 2009] <http://www.perfsonar.net/>, acesso em 13/12/2009.
- [Peterson 2002] Peterson, L., Anderson, T., Culler, D. and Roscoe, T. (2002) “A Blueprint for Introducing Disruptive Technology into the Internet”, In: Proceedings of ACM HotNets-I Workshop, Princeton, New Jersey, USA, Outubro 2002.
- [PlanetLab 2009] <http://www.planet-lab.org/>, acesso em 15/12/2009.
- [PrimoGENI 2010] Developing GENI Aggregates for Real-Time Large-Scale Network Simulation, <http://groups.geni.net/geni/wiki/PrimoGENI>, acesso em 17/8/2010.
- [Sampaio 2007] Sampaio, L. et al. (2007), “Implementing and Deploying Network Monitoring Service Oriented Architectures - Brazilian National Education and Research Network Measurement

- Experiments” (Invited Paper). In: Proc. 5th Latin American Network Operations and Management Symposium - LANOMS, 2007, Petrópolis, RJ, Brazil, v. 1. p. 28-37.
- [RedeCipó 2009] Rede Cipó (a testbed for automatic provisioning of circuits), <http://wiki.rnp.br/pages/viewpage.action?pageId=26969360> , acesso em 15/12/2009.
- [ReMAV 2002] Rede Metropolitanas de Alta Velocidade, <http://www.rnp.br/remav/> , acesso em 17/8/2010.
- [Scarabucci 2005] Scarabucci, R.R., Stanton, M.A. et al. (2005), “Project GIGA – High-speed Experimental Network”, In: First International Conference on Testbeds and Research Infrastructures for the DEvelopment of NeTworks and COMmunities (TRIDENTCOM'05), Trento, Itália, 02/2005, p. 242-251.
- [Stanton 1987] Stanton, M.A., Sumário da reunião preparatória da Rede-CC, realizada na EPUSP nos dias 14 e 15 de outubro de 1987, http://wiki.rnp.br/download/attachments/41191387/1987_Sumario-reuniao-preparatoria-REDE-CC_relata.pdf , acesso em 18/8/2010
- [Stanton 1993] Stanton, M.A., “Non-Commercial Networking in Brazil”, In: INET'93, San Francisco, August, 1993. Proceedings, San Francisco, Internet. Society., 1993. Available from <http://www.ic.uff.br/~michael/pubs/inet93.ps> , acesso em 11/4/2010.
- [Stanton 2005] Stanton, M.A., Ribeiro Filho, J.L. and Simões da Silva, N. (2005), “Building Optical Networks for the Higher Education and Research Community in Brazil”, In: 2nd IEEE/Create-Net International Workshop on Deployment Models and First/Last Mile Networking Technologies for Broadband Community Networks (COMNETS 2005), Boston, MA, USA, P. 1499 - 1505 Vol. 2. °
- [Stanton 2009] O futuro da Internet, matéria oferecida na PG do Instituto de Computação da UFF, 1° semestre, 2009, <http://www.ic.uff.br/~michael/futuro-da-internet/index.htm> , acesso em 18/8/2010.
- [Stanton 2010] Stanton, M.A., et al., “RNP: a brief look at the Brazilian NREN”, Terena Networking Conference (TNC2010), Vilnius, Lituânia, maio 2010, http://tnc2010.terena.org/schedule/presentations/show.php?pres_id=11 , acesso em 17/8/2010,
- [Stöver 2003] Stöver, C. and Stanton, M.A. (2003), “Integrating Latin American and European Research and Education Networks through the ALICE project”, In: LANOMS 2003, Foz do Iguaçu, 08/2003. Proceedings, Foz do Iguaçu, UFPR.
- [Stöver 2010] Stöver, C. and Stanton, M.A. (2010), “Latin America”, section 8.5 of Bressan, B. and Davies, H. (eds.) “A History of International Research Networking”, Wiley VCH, February 2010. ISBN 978-3527327102.
- [Tronco 2010] Tronco, T. (ed.), New Network Architectures: The Path to the Future Internet, (Series: Studies in Computational Intelligence, Vol. 297), 1ª edição, Springer, 2010, ISBN: 978-3-642-13246-9.
- [WebSci 2010] Web Science Brasil, http://webscience.org.br/wiki/index.php/Main_Page , acesso em 17/8/2010.
- [WebSciFIA 2010] Web Science Brasil, Future Internet Architectures, http://webscience.org.br/wiki/index.php/Future_Internet_Architectures, acesso em 17/8/2010.
- [White 2002] White, B., et al., “An Integrated Experimental Environment for Distributed Systems and Networks”, OSDI 2002, dezembro 2002, disponível em <http://www.cs.utah.edu/flux/papers/netbed-osdi02-base.html> , acesso em 17/8/2010.
- [WPEIF 2010a] Workshop de Pesquisa Experimental da Internet do Futuro, <http://sbrc2010.inf.ufgrs.br/index.php/pt/wpeif> , acesso em 17/8/2010.
- [WPEIF 2010b] Workshop de Pesquisa Experimental da Internet do Futuro, <http://indico.rnp.br/conferenceOtherViews.py?view=standard&confId=98> , acesso em 17/8/2010.