

# Proposta de GT da RNP

## 1 Título do Projeto

**GT-TRAVEL** (Transporte em Alta Velocidade)<sup>1</sup>

## 2 Coordenador

José Ferreira de Rezende - COPPE/UFRJ  
rezende@gta.ufrj.br

## 3 Resumo

Algumas comunidades científicas e usuários da RNP utilizam aplicações, denominadas de *e-sciences*, que demandam altas taxas de transmissão para realizar transferências maciças de dados. Idealmente, a infra-estrutura de rede deveria oferecer a essas aplicações um acesso ubíquo às informações, com um desempenho similar ao encontrado com o uso de armazenamento local e da forma mais transparente possível. Para atender melhor a demanda por altas taxas de transmissão, a rede da RNP vem passando por constantes melhorias em termos de capacidade, tanto nos seus enlaces de *backbone* (rede Ipê) quanto nas redes de acesso (Redecomep). Apesar disso, tais enlaces continuam, na maioria das vezes, sendo subutilizados devido a problemas inerentes ao controle de congestionamento em malha fechada do protocolo de transporte TCP. Este protocolo tem algumas características que o tornam incapaz de ocupar toda a banda passante disponível, principalmente quando utilizado em redes com grande memória (alto produto banda passante-latência) ou com disparidades de capacidade e/ou ocupação entre rede de acesso e *backbone*. Assim, esta proposta tem como objetivo desenvolver e implantar um serviço de transporte confiável de dados que faça uso máximo da capacidade disponível na rede. Para prover o serviço, conexões TCP fim-a-fim serão divididas em duas ou mais conexões TCP dispostas em série, formando uma conexão fim-a-fim de mais alto nível. A criação e manutenção dessas conexões serão realizadas por uma rede sobreposta (*overlay*) ao *backbone* da RNP. O uso de armazenamento intermediário entre as conexões e a escolha, para determinadas conexões, de protocolos especialmente concebidos para atingir altas velocidades estão entre as tarefas da rede sobreposta. Desta forma, o serviço proposto permitirá melhorar a eficiência no uso, tanto dos enlaces de alta capacidade como dos enlaces com taxas de perda altamente variáveis como os das redes de acesso. Tudo isso, com um mínimo de alterações e de forma totalmente transparente para as aplicações. Além disso, esse serviço não requer nenhuma modificação nos sistemas operacionais usados nas máquinas onde tais aplicações serão executadas.

---

<sup>1</sup>Um projeto de mesmo nome foi submetido ao edital anterior por esta mesma equipe. Cabe esclarecer que apesar de ambos os projetos compartilharem objetivos comuns, o conceito de base utilizado no projeto atual difere significativamente do anterior e a nova solução proposta responde às críticas levantadas pelos revisores.

## 4 Duração do Projeto

12 meses

## 5 Parcerias

O coordenador deste projeto está formalizando, através da troca de *e-mails*, uma parceria com o professor Martin Swamy da Delaware University, o qual está diretamente envolvido nos projetos LSL/Phoebus [1, 2] e HOPI [3] da Internet 2. Estes projetos serviram de base para esta proposta e serão detalhados posteriormente. Nesta parceria, o código dos projetos LSL/Phoebus será disponibilizado, permitindo um rápido avanço na implantação do serviço. Além disso, a realização de testes entre Brasil e EUA, assim como o intercâmbio de conhecimento e experiências foram propostos pelo parceiro internacional, o qual sugeriu ainda uma colaboração com a equipe deste projeto para o desenvolvimento de extensões da solução, envolvendo alocação dinâmica de recursos na rede.

Durante o projeto, parcerias poderão ser criadas com usuários potenciais dos resultados deste GT, tais como usuários do INPE que necessitam de uma transferência de dados confiável em alta velocidade entre a estação satelital de Cuiabá e o INPE em São José dos Campos.

## 6 Sumário Executivo

Esta seção apresenta a equipe envolvida, a motivação e os objetivos deste projeto. Em seguida, descreve o escopo do trabalho e o protótipo a ser demonstrado ao final dos 12 meses.

### 6.1 Equipe

O coordenador deste projeto atua na área de Redes de Computadores desde 1985. Obteve o título de Doutor em Informática pela Université Paris VI (Université Pierre et Marie-Curie) em 1997. Ingressou como professor da COPPE/UFRJ em 1998. Já orientou 25 teses de mestrado e doutorado e tem mais de 115 artigos publicados em conferências e periódicos nacionais e internacionais. Foi co-autor do melhor artigo do SBRC nos anos de 2000 e 2003. Ganhou o prêmio de Cientista Jovem do Nosso Estado pela FAPERJ em 2002. Participou dos seguintes projetos de P&D nas áreas de redes fixas e móveis: InterTV (MCT/FINEP/CPqD SBTVDigital RFP14), Taquara (Projeto Giga/RNP), GigaBot (Projeto Giga/RNP), VIMOS (CT-INFO) e Quaresma (PROTEM-RNP). Nestes projetos, coordenou diversas atividades de pesquisa. Teve ainda os seguintes projetos de pesquisa individuais aprovados: ECCRAM (CNPq Edital Universal 2006), UnFADiNG (bolsista do CNPq Nível 1D), RADHIO (CNPq Edital Universal 2004), QoSmo (bolsista do CNPq Nível 2), QoS na Internet (CNPq Edital Universal 2001), e Redes ATM (FAPERJ Instalação 1999).

O GTA/UFRJ tem uma grande experiência na área de redes de computadores, no ambiente de *software* livre GNU/Linux, em desenvolvimento de *software* de rede e em soluções baseadas na tecnologia IP e em redes sem fio. Este laboratório tem mais de 100 teses de mestrado e doutorado defendidas na COPPE/UFRJ e conta atualmente com 13 alunos de mestrado, 13 de doutorado e 10 de iniciação científica. Para este projeto, serão alocados 4 alunos de doutorado, 1 de mestrado e 3 alunos de graduação, todos sobre a coordenação direta do professor José Ferreira de Rezende. Relacionado ao assunto deste projeto, o coordenador já orientou diversas teses de mestrado e projetos finais de curso em avaliação de desempenho de protocolos TCP. Especificamente, orientou uma tese de mestrado em avaliação de desempenho de protocolos TCP de alta velocidade, realizando experimentos na Rede Giga, em ambientes emulados e de

simulação com estes protocolos [4]. Além disso, no projeto Taquara/Giga/RNP, coordenou uma atividade de avaliação de protocolos de transporte em redes de alta velocidade. O restante da equipe desse projeto também conta com uma ótima base de conhecimento na problemática envolvida.

## 6.2 Motivação

O desenvolvimento de novas tecnologias de transmissões ópticas tem permitido um grande aumento na velocidade dos enlaces de rede. O *backbone* da RNP e as redes metropolitanas, através da rede Ipê e da iniciativa Redecomep, respectivamente, são exemplos típicos deste aumento substancial da capacidade dos enlaces. Esta ampliação de capacidade permite tanto o fornecimento de uma melhor qualidade de serviço às aplicações atuais quanto o desenvolvimento de novas aplicações. Uma classe de aplicação altamente beneficiada com esse aumento de capacidade é aquela que depende da troca de grandes quantidades de dados, como aquelas previstas pelas grades computacionais, pela transferência de dados de satélites/telescópios, física de alta energia e bioinformática.

Apesar disso, mesmo sendo possível transmitir em taxas superiores a 1 Gbps em alguns enlaces, uma grande parte desse recurso pode ficar ocioso. O gráfico da figura 1 mostra a disparidade existente entre o crescimento da capacidade das redes e a habilidade dos usuários em preenchê-la quando o protocolo TCP é utilizado, despertando o interesse de várias iniciativas na comunidade científica, especialmente na Internet 2 [1, 2, 3]. Há várias razões para essa subutilização. A primeira, é que a maior parte dos sistemas operacionais não possui protocolos de transporte capazes de usar de forma eficiente essa capacidade, ou quando os possui, podem não estar configurados adequadamente. A segunda razão está relacionada aos enlaces de acesso ao *backbone*. Enquanto os *backbones* atuais já possuem segmentos de até 10Gbps, é comum encontrar enlaces de acesso com algumas dezenas de Mbps. Em princípio, as redes metropolitanas poderiam diminuir consideravelmente esse problema. No entanto, além de continuarem com capacidades de acesso inferiores às do *backbone*, não fornecem acesso diretamente aos laboratórios de pesquisa onde as aplicações são executadas.

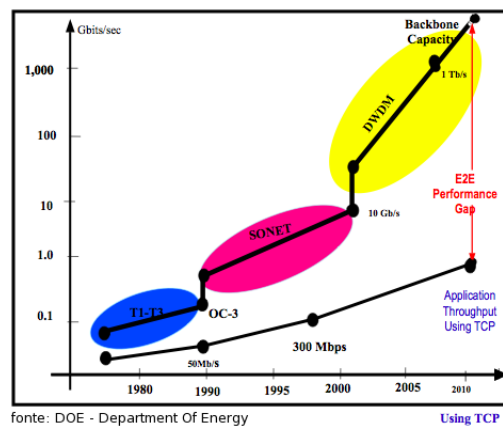


Figura 1: Capacidade da rede versus vazão obtida pelos usuários.

No entanto, a razão principal para a subutilização dos enlaces ópticos de alta velocidade está relacionada às características do protocolo TCP. Este protocolo subutiliza a capacidade dos enlaces de rede quando o produto *banda passante \* retardo* da conexão é alto. Em [5], é mostrado que enlaces com produto *banda passante \* retardo* superiores a 100Kbits já provocam quedas de desempenho do protocolo TCP. Em enlaces de 10Gbps, já existentes na rede da RNP, atrasos da ordem de 0,01ms já podem causar queda de desempenho. Isso ocorre pois o principal

mecanismo que controla a taxa de envio de informações do protocolo TCP foi projetado para evitar congestionamentos nos enlaces, e não com o objetivo de utilizar de maneira eficiente a sua capacidade [6]. O mecanismo de controle de congestionamento empregado pelo TCP [7, 8] desperdiça grande parte da largura de banda disponível, sendo o seu comportamento pouco agressivo no incremento do uso da largura de banda e muito responsivo em seu decremento. Novas propostas de modificação do protocolo TCP buscam solucionar o problema da ineficiência na utilização de enlaces de alta velocidade [7, 9, 10, 11, 12]. Estas soluções basicamente propõem mudanças no mecanismo de controle de congestionamento do TCP padrão. No entanto, o uso de protocolos de alta velocidade fim-a-fim envolvendo tanto enlaces de *backbone* quanto de acesso com diferenças de capacidade e/ou ocupação levam a um baixo desempenho, pois a vazão ficaria limitada pelo enlace de gargalo ou por maiores RTTs (*Round-Trip Times*) experimentados pela conexão. Vale ressaltar que o enlace de gargalo para uma determinada conexão fim-a-fim pode estar tanto na rede de acesso quanto no próprio *backbone*. Por exemplo, o segmento de *backbone* que atende a rede MetroGyn tem uma capacidade de duas ordens de grandeza inferior ao da rede de acesso. Desta forma, conexões fim-a-fim entre a UFG e UFRJ teriam como gargalo um enlace do próprio *backbone*.

A Figura 2 apresenta um exemplo em que um Cliente acessa o Servidor. Neste cenário, quando uma conexão TCP fim-a-fim é empregada, a utilização do enlace de alta velocidade ficará limitada pela capacidade dos enlaces de acesso.

### 6.3 Solução Proposta e Iniciativas na Internet 2

No cenário descrito acima (Figura 2), seria de grande interesse quebrar a semântica fim-a-fim da conexão TCP do Cliente ao Servidor e estabelecer, ao invés disso, três conexões em série: uma entre o Cliente e o PoP1, outra entre os PoPs 1 e 2, e uma terceira entre o PoP2 e o Servidor. Assim, o transporte da informação entre os PoPs poderá ser realizado com maior eficiência pelo emprego de protocolos de transporte de alta velocidade. A comunicação entre o Cliente e o Servidor e os seus respectivos PoPs continuaria sendo feita por protocolos TCP convencionais, os quais já estão instalados e configurados nos seus respectivos sistemas operacionais. Portanto, essa solução não exigiria nenhuma modificação nos sistemas finais. Para que isso seja possível, é necessário segmentar a conexão TCP fim-a-fim em múltiplas conexões em série realizando o armazenamento em elementos intermediários presentes nos PoPs, como mostrado na figura.

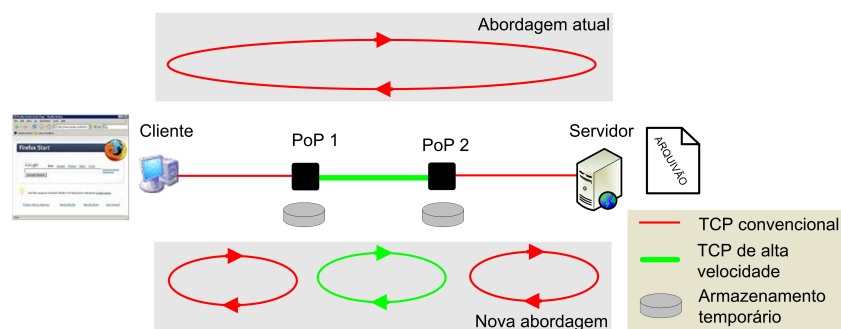


Figura 2: Uso de conexões TCP separadas em *pipeline* com armazenamento intermediário.

Desta forma, cada conexão individual terá um RTT inferior ao da comunicação fim-a-fim. Isso permitirá a essas conexões ocuparem de forma mais eficiente a capacidade dos enlaces que atravessam, uma vez que a sinalização de congestionamento (a não chegada de ACKs) em malha fechada apresentará uma menor latência. Com a transferência sendo realizada em *pipeline* entre as conexões que compõem a comunicação fim-a-fim, é possível aumentar ainda

mais a vazão obtida. Um outro ganho dessa solução é com relação à retransmissão dos pacotes perdidos, os quais não virão necessariamente da fonte, podendo ser retransmitidos pelo elemento de armazenamento antecessor ao enlace em que o pacote foi perdido.

Essa idéia já vem sendo explorada em projetos da Internet 2 [1, 2]. O projeto LSL (*Logistical Session Layer*) [1], liderado pelo pesquisador Martin Swamy, tem como objetivo definir uma camada de sessão que fornece pontos intermediários na rede com armazenamento logístico de curto prazo e encaminhamento de dados cooperativo. Uma sessão é definida como uma composição fim-a-fim de segmentos de transporte e sinalização. Os resultados apresentados em [13, 14] mostram ganhos significativos com essa solução. O projeto Phoebus [2], baseado no projeto LSL, tem como objetivo preencher a lacuna de desempenho criada pela introdução de redes ópticas híbridas (projeto HOPI [3]), criando pontos logísticos de armazenamento no interior da rede de forma a otimizar os recursos alocados dinamicamente pela comutação de lambdas.

## 6.4 Objetivo

Dentro do contexto apresentado, o objetivo desta proposta é fornecer um serviço de transferência de arquivos em alta velocidade aos usuários da RNP, utilizando uma interface *Web* amigável. O intuito é permitir que o usuário de qualquer sistema operacional precise apenas de um navegador *Web* convencional para acessar o serviço e possa enviar ou receber arquivos, buscando atingir o máximo da capacidade disponível na rede. Para fazer uso do serviço, o usuário não precisaria de nenhum *software* adicional, nem de alterações no *software* existente e nem mesmo modificações no sistema operacional.

De forma transparente para os usuários, seria criada uma rede sobreposta, ou seja, uma infra-estrutura de rede virtual estabelecida por equipamentos dentro do *backbone* da RNP. Esta rede sobreposta passaria a oferecer um serviço de nível de sessão, utilizando sinalização também nesse nível. Nessa rede virtual, passariam a ser realizadas três tarefas importantes: o estabelecimento de caminhos na rede sobreposta, a segmentação de uma conexão fim-a-fim em quantas partes se fizessem necessárias e o armazenamento temporário para implementação de *pipeline* entre os segmentos. Como pode ser visto em [13, 14], é possível obter ganhos significativos de desempenho com a segmentação de uma conexão TCP, mesmo com a sobrecarga gerada pelo armazenamento intermediário e o reencaminhamento. Usando a nomenclatura adotada em [13, 14], o *software* responsável pela criação da rede sobreposta será chamado de *depot*. Este termo faz alusão à criação de um armazenamento temporário e intermediário, o qual pertence a uma logística cujo intuito é otimizar métricas como atraso, custo e vazão. Há uma melhoria tanto do ponto de vista do usuário final que percebe um serviço melhor quanto por parte do operador da rede, o qual observa um uso otimizado dos recursos da sua infra-estrutura. Vale ressaltar que a complexidade adicionada não seria vista pelo usuário final, pois o mesmo teria a impressão de estar acessando um servidor *Web* tradicional.

Adicionalmente, seria oferecida aos usuários interessados em alterar aplicações pré-existentes uma API (*Application Programming Interface*), denominada API-Travel, para acesso direto à rede sobreposta.

A Figura 3 exemplifica o uso da rede sobreposta, onde um usuário utiliza um navegador *Web*, acessando um servidor, ou um aplicação-cliente para acessar diretamente um *depot*. O usuário pode se conectar a um servidor *Web* instalado em algum ponto qualquer (no caso, no PoP DF) ou diretamente ao *depot* mais próximo (PoP MT), com o intuito de enviar um arquivo para outro equipamento conectado, por exemplo, ao PoP SP. De forma transparente para o usuário final, os *depots* segmentam a conexão TCP, escolhendo caminhos com maior capacidade e TCPs de alta velocidade devidamente configurados, e então, realizam o *pipeline* entre os diferentes segmentos. Conforme é ilustrado na figura, os *depots* podem ser instalados dentro da rede do

próprio usuário ou apenas no *backbone* da RNP, assim como os servidores *Web*.

O exemplo da Figura 3 foi extraído de um cenário real formado por usuários da RNP, onde imagens de satélite são transferidas de uma estação conectada ao PoP MT ao INPE, este último conectado ao PoP SP. Tais usuários podem ser diretamente beneficiados pelos resultados deste projeto e foram identificados como possíveis parceiros na realização da avaliação de desempenho da solução proposta.

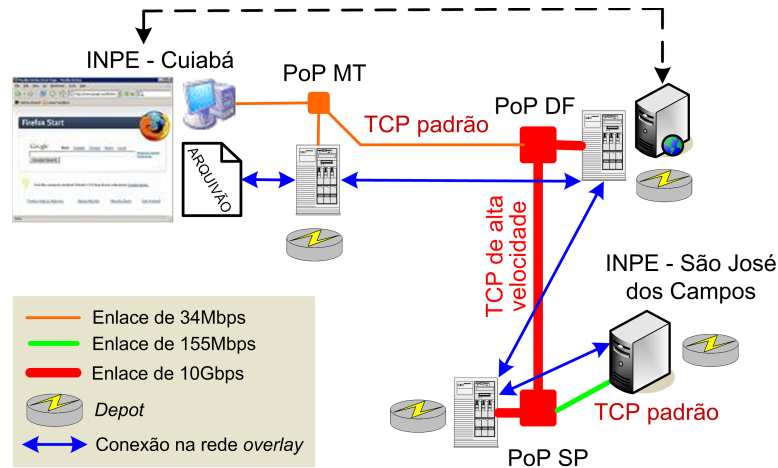


Figura 3: Rede sobreposta de alta velocidade no *backbone* da RNP.

## 6.5 Viabilidade Técnica

À primeira vista, a proposta pode parecer complexa e de difícil implementação, sobretudo dado o tempo exíguo de realização do mesmo. No entanto, como será apresentado a seguir, a implementação é factível e há inclusive alternativas para implantar a solução proposta.

Uma parte crítica da solução se refere ao estabelecimento do segmento de acesso a rede sobreposta. Essa conexão deve ser estabelecida com o *depot* mais próximo, o qual reencaminha os dados para o destino, podendo ter outros *depots* intermediários. Para o usuário que envia seu arquivo através do servidor *Web*, uma abordagem seria instruir ao navegador para acessar outro servidor *Web* que fosse o mais próximo do usuário e que exercesse também o papel de *depot*. Esse reencaminhamento pode ser realizado de forma simples com linguagens como PHP, as quais permitem a identificação da origem da requisição HTTP e podem gerar páginas dinâmicas para, por exemplo, reencaminhar o usuário para outro servidor. Além do endereço IP obtido a partir da requisição HTTP, cada *depot/servidor Web* teria também uma tabela que diria para onde cada usuário deveria ser encaminhado. Inicialmente, essas tabelas seriam estáticas e construídas manualmente, sendo posteriormente estabelecido um protocolo entre os *depots/servidores Web* para manutenção dinâmica das referidas tabelas. Como servidor *Web*, será escolhida uma versão simples, semelhante aos utilizados em sistemas embarcados, como o **AppWeb** ou **lighttpd**.

Caso o usuário queira utilizar uma aplicação própria, há algumas alternativas, as quais serão apresentadas a seguir. No decorrer do projeto, essas alternativas serão avaliadas para identificar quais delas atendem melhor as necessidades dos usuários da RNP, podendo levar a um redirecionamento nos objetivos do projeto.

1. Filtragem e redirecionamento - essa abordagem é a mais transparente para o usuário. O usuário não precisaria alterar nada em sua aplicação, seria necessário apenas identificar quais portas deveriam ser capturadas e redirecionadas para o *depot* mais próximo. Esse redirecionamento poderia ser realizado tanto nos roteadores de ingresso do *backbone* quanto

da rede de acesso. Quanto mais próximo do usuário final for feito esse redirecionamento, menores seriam as dificuldades associadas a essa abordagem. O uso de portas dinâmicas pelas aplicações dificultaria o uso dessa abordagem, exigindo uma maior inteligência por parte dos mecanismos de filtragem.

2. Biblioteca alternativa - em sistemas Unix (modernos) é muito comum compilar (de fato, “ligar”, do Inglês “*link*”) as aplicações para usar carga dinâmica de bibliotecas compartilhadas, por exemplo, da biblioteca que implementa a pilha TCP/IP. Essas aplicações podem ter suas chamadas a funções tradicionais (**connect**, **listen**, **open**...) facilmente sobrecarregadas (*overloaded*) por outras através da variável de ambiente LD\_PRELOAD. Nesse contexto, as novas funções mantêm a mesma interface das originais, mas implementam internamente novos recursos que fornecem a comunicação com a rede sobreposta.
3. Recompilação - para usuários que possuem o código-fonte de suas aplicações, bastaria recompilá-las usando uma biblioteca semelhante a apresentada na alternativa anterior, ou seja, com as funções tradicionais sobrecarregadas. Dessa forma, não há necessidade de alteração no código, apenas recompilação.

Outra parte importante da solução diz respeito à criação e manutenção da rede sobreposta com suas respectivas atribuições. Uma abordagem inicial, mais simples, consistiria em criar tabelas nos *depots* com a informação sobre as redes dos usuários (e seus prefixos IP) que fariam uso do serviço de alta velocidade e sobre os demais *depots*. Nessas tabelas, estaria indicado para quais *depots* as conexões devem ser reencaminhadas. Além disso, haveria também outras informações locais nos *depots*, por exemplo, quanto de *buffer* alocar para cada conexão e qual versão do TCP utilizar. Uma alternativa mais sofisticada seria o estabelecimento de um protocolo de sinalização na rede sobreposta, com o intuito de trocar as informações descritas entre os *depots*. Nessa abordagem, é possível alterar dinamicamente o comportamento dos *depots* em relação ao encaminhamento das conexões, visando maximizar os ganhos de desempenho.

As alternativas de abordagem apresentadas não são exaustivas, mas ilustram as opções disponíveis e o nível de maturidade da idéia apresentada e, portanto, a viabilidade técnica da proposta em questão.

## 6.6 Escopo do Trabalho

Inicialmente, será desenvolvido o *software* utilizado pelos *depots* para formar a rede sobreposta em questão. Ele será desenvolvido em código aberto, na forma de um *daemon*, para a plataforma GNU/Linux, a qual será utilizada nas máquinas *depot* conectadas em PoPs da RNP. O desenvolvimento deste *software* será baseado na solução LSL já existente, cujo código será obtido pela parceria com os seus próprios desenvolvedores, como citado na Seção 5. Em seguida, será especificada a API-Travel, baseada em *sockets*, para a interação das aplicações com os *depots* e o suporte correspondente desta API. Por fim, será desenvolvida a aplicação *Web* para a transferência de arquivos. Uma vez implementados, o *depot* e a aplicação *Web* passarão por uma fase de testes com a realização de experimentos para a avaliação do desempenho da rede sobreposta.

Todo o *software* desenvolvido neste projeto será devidamente documentado e disponibilizado para uso da RNP e de seus usuários.

## 7 Ambiente de Testes do Protótipo

O protótipo consistirá em *depots*/servidores *Web*, os quais serão instalados em máquinas situadas em PoPs da RNP. Será também desenvolvida uma aplicação simples que ilustra o uso

da API-Travel. Também será elaborado um ambiente que utiliza filtragem de pacotes e redirecionamento de portas de uma aplicação legada, a qual fará uso da rede sobreposta em alta velocidade.

As máquinas a serem colocadas nos PoPs para a demonstração do protótipo deverão se conectar aos equipamentos de rede dos PoPs através de interfaces GigabitEthernet.

Todo o processo de prototipagem será realizado sobre a plataforma GNU/Linux.

## Referências

- [1] “LSL project.” <http://www.cis.udel.edu/~swany/projects/lsl/>.
- [2] “Phoebus project.” <http://e2epi.internet2.edu/phoebus.html>.
- [3] “HOPI project.” <http://hopi.internet2.edu>.
- [4] L. A. F. da Silva, “Análise de Desempenho de Protocolos de Transporte para Redes de Alta Velocidade,” Master’s thesis, Programa de Engenharia Elétrica - COPPE/UFRJ, 2006.
- [5] V. Jacobson and R. Braden, “RFC 1072 - TCP Extensions for Long-Delay Paths,” *IETF Request for Comments*, Outubro 1988.
- [6] M. Welzl, *Network Congestion Control - Managing Internet Traffic*. John Wiley & Sons, Ltd, 1st ed., 2005.
- [7] S. Floyd, “RFC 3649 - HighSpeed TCP for Large Congestion Windows,” *IETF Request for Comments*, Dezembro 2003.
- [8] V. Jacobson, R. Braden, and D. Borman, “RFC 1323 - TCP Extensions for High Performance,” *IETF Request for Comments*, Maio 1992.
- [9] E. Souza and D. Agarwal, “A HighSpeed TCP Study: Characteristics and Deployment Issues,” tech. rep., Lawrence Berkeley National Laboratory, 2003. LBNL Technical Report Number LBNL-53215.
- [10] T. Kelly, “Scalable TCP: Improving Performance in Highspeed Wide Area Networks,” *SIGCOMM Comput. Commun. Rev.*, vol. 33, no. 2, pp. 83–91, 2003.
- [11] D. Leith and R. Shorten, “H-TCP: TCP Congestion Control for High Bandwidth-Delay Product Paths,” *IETF - Internet Draft*, Dezembro 2005.  
<ftp://ftp.rfc-editor.org/in-notes/internet-drafts/draft-leith-tcp-htcp-01.txt>.
- [12] L. Xu, K. Harfoush, and I. Rhee, “Binary Increase Congestion Control for Fast, Long Distance Networks,” in *Proceedings of IEEE INFOCOM '04*, 2004.
- [13] D. M. Swamy and R. Wolski, “Data logistics in network computing: The logistical session layer,” in *NCA '01: Proceedings of the IEEE International Symposium on Network Computing and Applications (NCA '01)*, (Washington, DC, USA), p. 174, IEEE Computer Society, 2001.
- [14] D. M. Swamy, “Improving Throughput for Grid Applications with Network Logistics,” in *Proceedings of the 2004 ACM/IEEE conference on Supercomputing*, 2004.