

UM GUIA PARA DETERMINAR AS CONDIÇÕES DE REDE NECESSÁRIAS PARA A REALIZAÇÃO DE UM ESPETÁCULO TELEMÁTICO

Alex Moura
Clayton Reis
Gustavo Dias
Iara Machado
Leandro Ciuffo
Michael Stanton
RNP / Brasil

Resumo

Baseado na experiência dos autores no apoio técnico para a realização de espetáculos de música e dança distribuídos, o presente artigo apresenta um guia para ajudar a verificar se as condições de rede são suficientes para a realização de um espetáculo telemático. Também é apresentado um questionário para auxiliar no diagnóstico de problemas de rede. Por fim, o artigo discute a importância das redes acadêmicas no apoio a tais espetáculos.

Palavras-chave:

RNP, configurações de rede, dança telemática, música distribuída

1. Introdução

Em outubro de 2005 a Rede Nacional de Ensino e Pesquisa (RNP) promoveu uma demonstração de dança telemática criada especialmente para celebrar a inauguração da 5ª geração da rede acadêmica. Batizado de *VERSUS*, o espetáculo reuniu, no “ciberespaço”, dançarinos e músicos distribuídos em 3 cidades separadas por mais de 2.000 km de distância: Salvador, Brasília e João Pessoa. O palco principal foi montado em Brasília, onde o público pôde ver dançarinos locais interagindo com os dançarinos de Salvador através de múltiplas projeções de vídeo em alta definição. A música para o espetáculo foi gerada e transmitida a partir de João Pessoa (Santana, 2010).

VERSUS também inaugurou uma parceria de sucesso entre artistas, desenvolvedores de aplicações de vídeo e engenheiros de rede, que foi replicada em muitos outros espetáculos telemáticos apoiados pela RNP ao longo dos anos.

Uma das performances mais recentes e desafiadoras ocorreu em 2013 durante a 36ª conferência da APAN - associação de redes avançadas da região da Ásia-Pacífico - realizada na cidade de Daejeon na Coreia do Sul. O espetáculo, intitulado *Dancing Beyond Time*, fez referência à imensa distância e diferenças de fuso horário entre as localidades participantes: Praga (República Tcheca), Barcelona (Espanha), Salvador (Brasil) e o local da conferência em Daejeon. Os dançarinos estavam distribuídos em Barcelona, Salvador e Daejeon. A música foi executada ao vivo por um trio de instrumentistas em Praga, e transmitida em vídeo na resolução 4K (4096 × 2304 pixels) para o palco principal na Coreia.

Lidar com as grandes distâncias entre localidades envolvidas é um dos aspectos mais desafiadores dos espetáculos de música e dança distribuídos, pois acarreta em atraso das transmissões de áudio e vídeo. Ter uma “Internet veloz”, com largura de banda suficiente em todas as localidades do espetáculo, não é suficiente para garantir uma boa fluidez das transmissões. Em muitos casos, é aconselhável a realização de uma engenharia de rede sob medida, o que não é feito comumente por provedores comerciais de internet.

Este artigo apresenta um guia para auxiliar a verificar se as condições de rede são suficientes para a realização de um espetáculo de música ou dança distribuída. As informações apresentadas são baseadas em melhores práticas acumuladas pela RNP e outras redes parceiras no apoio a performances telemáticas.

2 - Largura de banda não é tudo

Ao planejar um espetáculo de dança ou música distribuído, é recomendada a participação de um especialista em rede de computadores em cada localidade, tipicamente o profissional de Tecnologia da Informação (TI) que é responsável pelo suporte de rede no campus/laboratório/

estúdio onde os artistas deverão atuar. É comum não incluir esse tipo de profissional e compor o corpo técnico apenas com especialistas em software e equipamentos audiovisuais.

Outro erro comum é verificar apenas a largura de banda contratada nos pontos de captura e exibição do espetáculo, sem de fato aferir qual é a banda disponível. Banda de rede, que é a capacidade de transmissão de dados através da rede, é importante para espetáculos telemáticos, mas não é a única característica de rede que precisa ser verificada. Ter banda abundante em todas as localidades não garante uma transmissão de áudio e vídeo livre de problemas.

Para explicar por que a largura de banda não é o único aspecto da rede que deve ser levado em conta, o leitor precisa entender que toda informação transmitida através da Internet, quer seja áudio ou vídeo, é dividida em partes chamadas de “pacotes”, que são enviados separada e assincronamente. Quando cada pacote chega no destino é usado para reproduzir parte do áudio/vídeo gerado na fonte e contida no pacote. Com esse conceito em mente, fica mais fácil entender outras características importantes de uma rede de computadores, tais como:

- **Atraso:** é o tempo necessário para cada pacote viajar pela rede, da origem para o destino. Há vários fatores que afetam o atraso, como a distância que o pacote precisa percorrer fim-a-fim, o equipamento usado para a transmissão de dados/áudio/vídeo, o meio pelo qual o pacote é transmitido (cabos, ar, etc.) e, principalmente, outros fluxos de dados que compartilham a mesma conexão com o espetáculo telemático. Saber quanto é o atraso é importante para coordenar o espetáculo entre as múltiplas localidades, porque o pacote pode demorar um tempo significativo para ser transmitido da origem ao destino. Em espetáculos ao vivo com a presença de público em uma localidade, por exemplo, pode ser necessário que um local comece a transmissão da sua parte do espetáculo antes de outro, com o tempo de antecipação sendo a diferença entre os dois atrasos. Quanto menor o atraso, melhor.

- **Variação do Atraso (Jitter):** o atraso não é fixo ao longo do tempo, porque muitos fatores o afetam. O jitter é mais pernicioso para um bom espetáculo telemático do que o atraso em si. Se o atraso fosse constante (jitter zero), seria simples gerenciá-lo, porque a única tarefa seria determinar o atraso entre os pontos em comunicação, e iniciar um deles ao tempo t depois do outro, e a partir disso, ambos os pontos procederem normalmente, sem terem que se preocupar com a rede. Porém, como o atraso é variável, alguns pacotes podem chegar ao destino antes de outros, chegando ao ponto de um pacote chegar ao destino depois de um pacote que foi gerado antes dele na origem, ou seja, fora de ordem. Outro problema que pode acontecer é um pacote chegar, e os próximos após ele demorarem mais tempo para chegar (por exemplo, por causa de congestionamento de tráfego na rede), criando um “espaço em branco” sem nenhum pacote com conteúdo para reproduzir. Para minimizar esse

problema, a reprodução no destino deve usar um espaço de memória chamado buffer de reprodução para armazenar pacotes antes de serem usados. Esse buffer minimiza o problema do jitter “inserindo um atraso artificial” no destino. Mesmo assim, quanto menor o jitter, melhor.

- Taxa de perda de pacotes: é a porcentagem de pacotes perdidos durante uma comunicação de rede entre as duas pontas. A rede é instável, ao ponto que um pacote pode ser perdido por completo ao longo do caminho entre as pontas. É normal que alguns poucos pacotes sejam perdidos, porque milhões de pacotes trafegam pela rede ao longo do tempo. Se um pacote de uma comunicação entre pontos de um espetáculo telemático é perdido, ele pode ser recuperado através de técnicas de recuperação de perdas de pacotes, tais como a FEC (*Forward Error Correction* ou correção de erros a posteriori) ou então ignorado. O problema é quando um grande grupo de pacotes é perdido junto, excedendo a capacidade de recuperação usada, isto gera um espaço em branco sem pacotes com conteúdo a ser reproduzido, acarretando em falhas na reprodução. Nem mesmo o buffer de reprodução resolve esse problema, porque não há pacotes para chegar. Assim, é importante usar um caminho de rede que tenha o mínimo de taxa de perda de pacotes, idealmente zero.

- Rota ou Caminho de rede: é o caminho que o pacote usa para trafegar da origem ao destino. As localidades de um espetáculo telemático são ligados um ao outro logicamente, porém não fisicamente. Para ir da origem ao destino, o pacote passa por vários pontos intermediários de rede. Há diversos caminhos entre origem e destino, pois se uma parte do caminho falhar, ou estiver congestionado, a seleção de melhor caminho para transmissão de pacotes muda, assim diversos pacotes de uma mesma conexão origem-destino podem trafegar por diversos caminhos. É importante conhecer o caminho da rede para poder realizar testes também envolvendo os pontos intermediários.

Levando em conta os conceitos de rede acima, é altamente recomendado montar uma lista de controle das características da rede antes de organizar um espetáculo telemático, conforme apresentado a seguir.

3 - Conhecendo e verificando o desempenho da rede

Para se realizar um espetáculo telemático, é preciso inicialmente avaliar quais serão os requisitos de rede, hardware e software. Nesta seção é apresentado um guia não exaustivo para auxiliar na organização de um espetáculo de dança ou música em rede.

3.1 – Alinhe as expectativas

Para a organização de um espetáculo telemático, a primeira ação a ser realizada deve ser um levantamento das expectativas que os usuários (artistas) têm quanto à utilização da infraestrutura de rede disponível. Para isso, discussões devem ser realizadas entre os usuários e os técnicos das equipes de operação da rede em cada localidade. Essas discussões devem buscar identificar algumas métricas de rede, tal como largura de banda mínima requerida, atraso e variação de atraso máximos aceitáveis e taxa máxima de perda de pacotes suportada pelos softwares empregados no espetáculo telemático.

Tais informações deverão ser levantadas com base na capacidade da infraestrutura local de conectividade dos pontos de exibição do espetáculo, assim como na capacidade da infraestrutura das redes que serão usadas para prover a conectividade fim-a-fim entre as localidades participantes do espetáculo. Esta conectividade envolve as redes de campus, as redes de acesso (por exemplo, as redes metropolitanas), as redes interurbanas e as internacionais.

Após o levantamento dos requisitos de rede, é preciso verificar se o que foi definido como esperado está efetivamente disponível para uso, isto é, é preciso conhecer o padrão atual de utilização da rede para estimar o impacto que o espetáculo poderá causar.

Por fim, após todo esse levantamento é preciso definir alguns objetivos realistas a serem alcançados, tais como, se existe conectividade com largura de banda suficiente em todo o caminho de rede. Por exemplo, caso as localidades estejam interligadas por uma rede de capacidade de 1 Gbps, porém essa rede tem uma utilização máxima da ordem de 300 Mbps, é razoável esperar que não haja mais do que 700 Mbps disponíveis para uso. Além disso, se o atraso requerido precisa estar abaixo de 100ms (milissegundos) e os pontos de exibição do espetáculo estão em diferentes continentes, isso poderá inviabilizar o espetáculo, uma vez que normalmente o atraso entre continentes costuma ser superior aos 100ms, sendo, portanto, uma restrição forte para a realização do espetáculo.

3.2 - Obtenha informações sobre os sistemas nos pontos de captura e exibição

É importante conhecer os equipamentos e softwares utilizados nos pontos de captura e exibição, pois muitas vezes o emprego de ferramentas de software inadequadas e hardware de baixo desempenho fazem com que as expectativas de uso da rede não sejam atendidas. Acerca do hardware utilizado, é importante conhecer características como o desempenho do processador, a quantidade e tempo de acesso da memória instalada, o desempenho e a ocupação do disco e o desempenho das placas de rede e de captura de mídia, e do software associado a elas. Do ponto de vista do software, é importante conhecer o tipo e a versão do sistema operacional e dos aplicativos instalados, se houve otimização nos parâmetros de

rede no sistema operacional e qual endereçamento de rede está sendo utilizado nas localidades do espetáculo, por exemplo, se os sistemas estão configurados com endereços IP públicos, e qual a versão do IP apoiado. De posse dessas informações, poderão ser identificados potenciais gargalos e restrições localizados nos pontos de captação e exibição envolvidos no espetáculo.

Gargalos na transmissão podem ser provocados por consumo excessivo da capacidade do processador por parte dos aplicativos, esgotamento da capacidade de memória, falta de disponibilidade de espaço em disco (algumas vezes o disco pode estar cheio) e também pela configuração inapropriada das interfaces de rede dos equipamentos.

3.3 - *Obtenha informações sobre a rede*

Deve-se documentar a conectividade fim-a-fim entre os pontos envolvidos no espetáculo, por exemplo, através de diagramas e mapas (veja o exemplo na Fig. 1). Nesses diagramas, deve-se colocar uma demarcação em destaque para mostrar os limites das redes locais, das redes de campus e metropolitanas e das conexões de longa distância nacionais e internacionais. Além disso, deve-se mostrar quais equipamentos estão no caminho a partir da rede local onde se encontra cada ponto participante do espetáculo até a borda da rede do campus, como roteadores, comutadores (*switches* de rede) ou *firewalls*.

Para conhecer informações sobre a rede deve-se usar algumas ferramentas de medição de rede como perfSONAR (2015). Se existirem medidores perfSONAR instalados na infraestrutura local de rede, nas redes de campus, nas redes metropolitanas e nas redes de longa distância, pode-se determinar experimentalmente as métricas da rede relatadas neste artigo (Fig. 2).

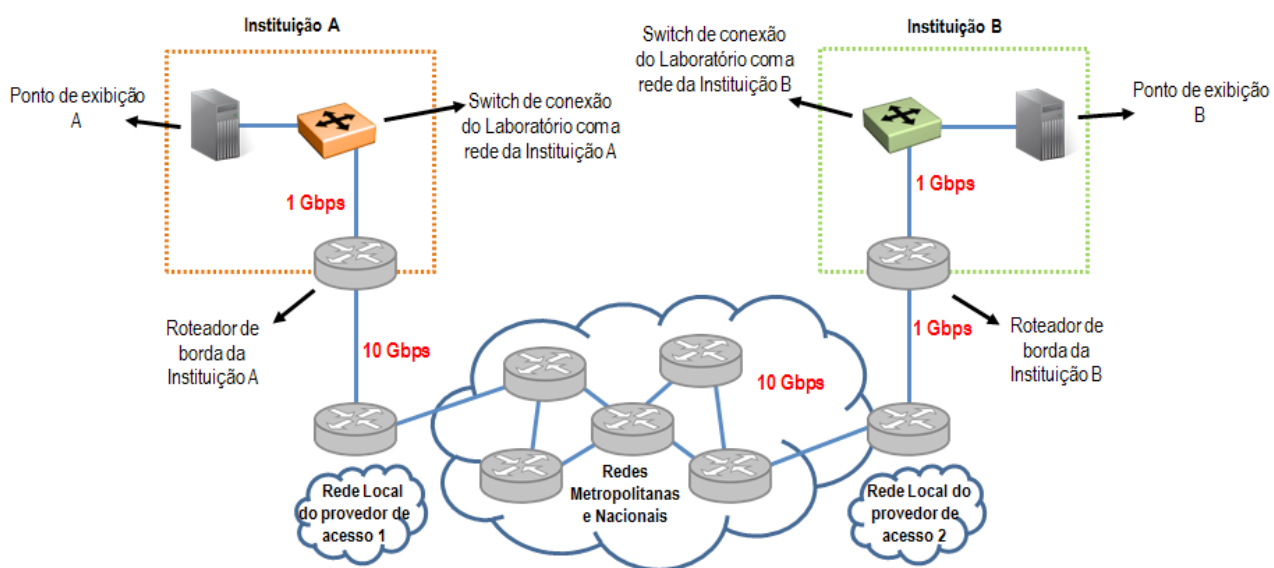


Figura 1. Exemplo de diagrama de rede que mostra a conectividade entre os pontos de captura e exibição.

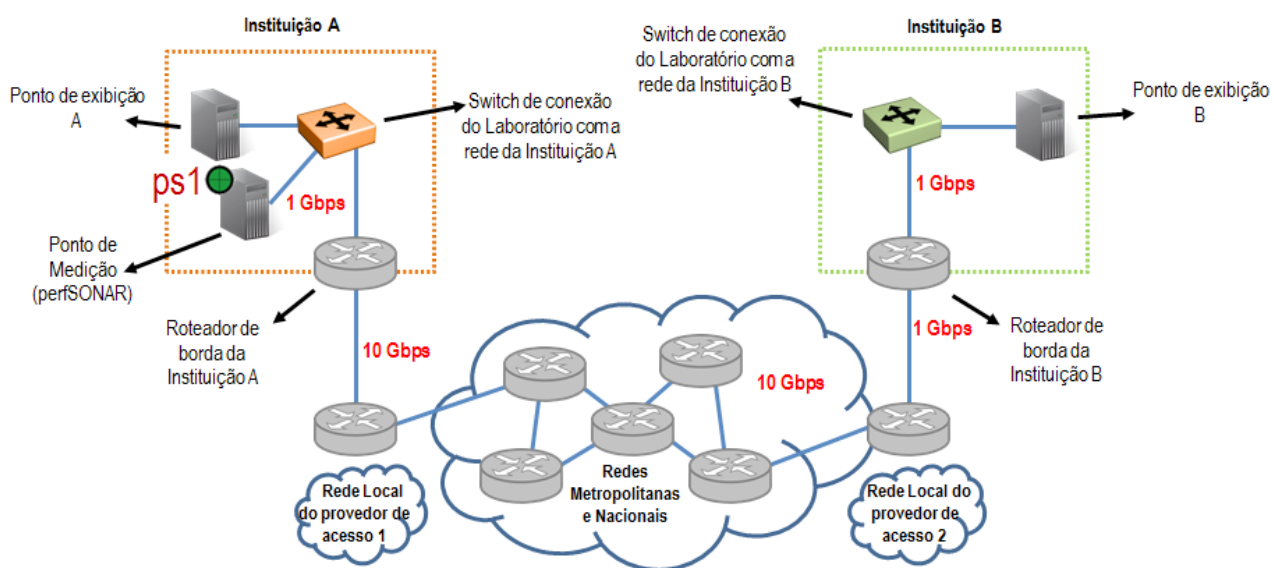


Figura 2. Instalação temporária de um ponto de medição perfSONAR próximo ao ponto de captura e transmissão para realizar medições da rede.

3.4 - Realize medições no caminho de rede fim-a-fim

Utilizando ferramentas de medição, como o sistema perfSONAR citado anteriormente, deve-se procurar medir a banda alcançável, atraso, variação do atraso e taxa de perda de pacotes entre os pontos. Para uma melhor compreensão dos testes, deve-se procurar conhecer a(s) rota(s) de rede por onde os dados serão transmitidos (Fig. 3).

É importante verificar se o roteamento é simétrico, ou seja, se a mesma rota é usada nas duas direções, no caso contrário, as medidas a serem realizadas podem ser muito diferentes. Também vale a pena lembrar que a rota usada pode sofrer alterações dinâmicas em função de congestionamentos ou falhas em algum segmento da rede. Técnicas de engenharia de rede podem ser adotadas para determinar uma rota fixa entre as pontas. Mais detalhes são discutidos nas conclusões deste artigo.

Por fim, é importante conhecer o nível de utilização da rede ao longo da rota, para se ter uma estimativa da folga disponível para uso do espetáculo (Fig. 4).

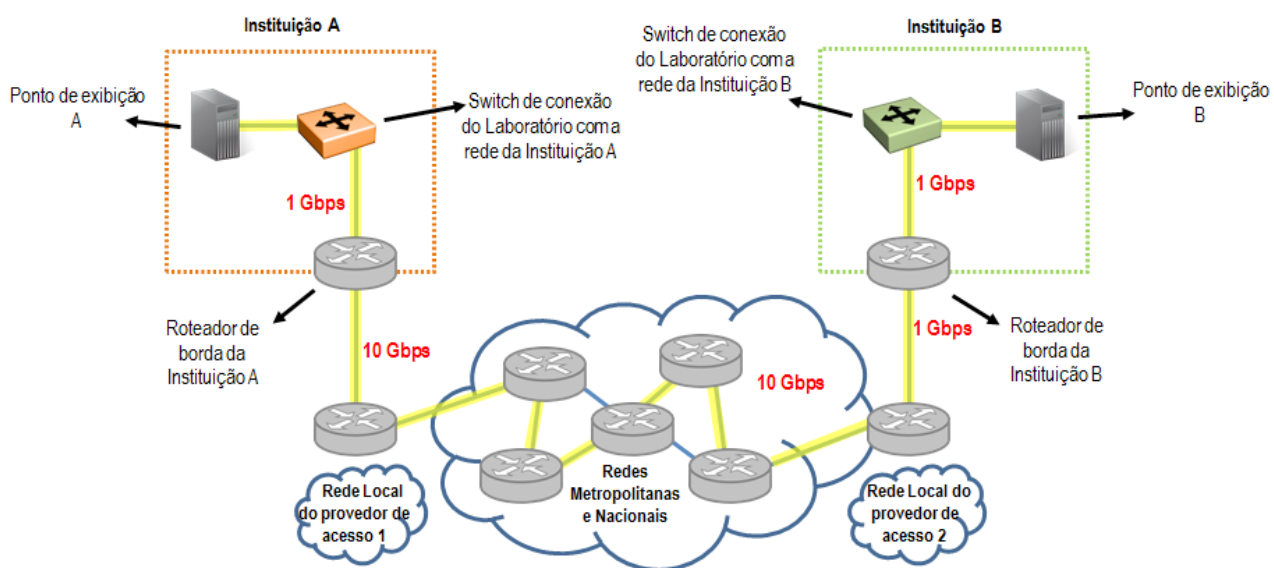


Figura 3. Descoberta do caminho completo entre os pontos de captura e exibição.

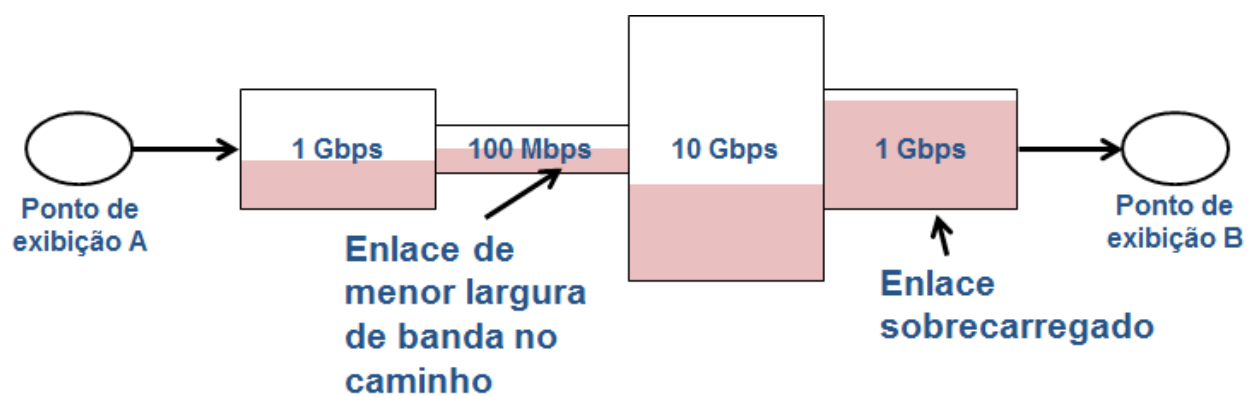


Figura 4. Diagrama que mostra a capacidade e a utilização da rede, e possíveis gargalos.

Para encontrar a largura de banda disponível no caminho fim-a-fim (em ambas direções) pode-se realizar as seguintes medições com duas ferramentas disponíveis no perfSONAR - nuttcp e iperf3 - ambos usando o ponto de exibição A como referência:

Sentido de ida (INSTITUIÇÃO_A → INSTITUIÇÃO_B) usando o nuttcp

```
bwctl -T nuttcp -f m -t 30 -i 2 -x -c $INSTITUIÇÃO_A  
-s $INSTITUIÇÃO_B
```

Por exemplo:

```
root@dpd-rj-note04: ~  
root@dpd-rj-note04:~# bwctl -T nuttcp -f m -t 30 -i 2 -x -c perfsonar.ampath.net -s ps-bw.sdmz.rnp.br  
bwctl: Using tool: nuttcp  
bwctl: 286 seconds until test results available  
  
RECEIVER START  
  
RECEIVER END  
  
SENDER START  
nuttcp-t: v7.2.1: socket  
nuttcp-t: buflen=65536, nstream=1, port=5343 tcp -> 190.103.184.146  
nuttcp-t: time limit = 30.00 seconds  
nuttcp-t: connect to 190.103.184.146 with mss=8948, RTT=125.077 ms  
nuttcp-t: send window size = 94800, receive window size = 87380  
nuttcp-t: available send window = 71100, available receive window = 65535  
nuttcp-r: v7.2.1: socket  
nuttcp-r: buflen=65536, nstream=1, port=5343 tcp  
nuttcp-r: interval reporting every 2.00 seconds  
nuttcp-r: accept from 200.143.243.4  
nuttcp-r: send window size = 4194304, receive window size = 4194304  
nuttcp-r: available send window = 3145728, available receive window = 3145728  
  0.0000 MB / 2.00 sec = 0.0000 Mbps 4 retrans  
  0.0000 MB / 2.00 sec = 0.0000 Mbps 0 retrans  
  0.0000 MB / 2.00 sec = 0.0000 Mbps 35 retrans  
  0.0000 MB / 2.00 sec = 0.0000 Mbps 0 retrans  
  0.0625 MB / 2.00 sec = 0.2621 Mbps 0 retrans  
  0.1250 MB / 2.00 sec = 0.5243 Mbps 0 retrans  
 11.0000 MB / 2.00 sec = 46.1376 Mbps 0 retrans  
 40.7500 MB / 2.00 sec = 170.9177 Mbps 24 retrans  
 46.5000 MB / 2.00 sec = 195.0351 Mbps 0 retrans  
 99.0000 MB / 2.00 sec = 415.2440 Mbps 0 retrans  
 53.4375 MB / 2.00 sec = 224.1331 Mbps 225 retrans  
 51.7500 MB / 2.00 sec = 217.0554 Mbps 0 retrans  
108.9375 MB / 2.00 sec = 456.9090 Mbps 0 retrans  
184.2500 MB / 2.00 sec = 772.8079 Mbps 0 retrans  
190.3750 MB / 2.00 sec = 798.4962 Mbps 0 retrans  
nuttcp-t: 800.2299 MB in 30.00 real seconds = 27314.48 KB/sec = 223.7602 Mbps  
nuttcp-t: 800.2299 MB in 0.24 CPU seconds = 3345153.06 KB/cpu sec  
nuttcp-t: retrans = 288  
nuttcp-t: 12804 I/O calls, msec/call = 2.40, calls/sec = 426.80  
nuttcp-t: 0.0user 0.2sys 0:30real 0% 0i+0d 440maxrss 0+6pf 141+4csw  
  
nuttcp-r: 800.2299 MB in 30.27 real seconds = 27072.32 KB/sec = 221.7765 Mbps  
nuttcp-r: 800.2299 MB in 1.30 CPU seconds = 628979.22 KB/cpu sec  
nuttcp-r: 111519 I/O calls, msec/call = 0.28, calls/sec = 3684.34  
nuttcp-r: 0.0user 1.2sys 0:30real 4% 0i+0d 750maxrss 0+4pf 100970+10csw  
  
SENDER END  
root@dpd-rj-note04:~# █
```

Para encontrar o caminho de rede entre os pontos de captura e exibição (ida e volta) as seguintes medições podem ser feitas, usando o ponto de exibição A como referência:

Sentido de ida (INSTITUIÇÃO_A → INSTITUIÇÃO_B)

```
bwtracert -T traceroute -4 -c $INSTITUIÇÃO_A -s $INSTITUIÇÃO_B
```

Por exemplo:

```
root@dpd-rj-note04: ~
root@dpd-rj-note04:~# bwtracert -T traceroute -4 -c ps-bw.sdmz.rnp.br -s perfsonar.ampath.net
bwtracert: Using tool: traceroute
bwtracert: 17 seconds until test results available

SENDER START
traceroute to 200.143.243.4 (200.143.243.4), 30 hops max, 60 byte packets
 1 i2.ampath.net (190.103.184.145)  0.630 ms  0.688 ms  0.828 ms
 2 190.103.184.95 (190.103.184.95)  1.621 ms  1.738 ms  1.865 ms
 3 br-us.redclara.net (200.0.204.8)  117.006 ms  116.981 ms  117.022 ms
 4 rnp-br.redclara.net (200.0.204.214)  117.287 ms  117.310 ms  117.295 ms
 5 rj-sp-nau.bkb.rnp.br (200.143.252.70)  125.066 ms  sp2-sp.bkb.rnp.br (200.143.253.38)  117.325
 6 sp2-rj-oi.bkb.rnp.br (200.143.253.222)  125.073 ms  lanrj2-rj.bkb.rnp.br (200.143.255.166)  127
 7 200.143.243.4 (200.143.243.4)  124.971 ms  125.046 ms  125.002 ms

SENDER END
root@dpd-rj-note04:~# █
```

Sentido de volta (INSTITUIÇÃO_B → INSTITUIÇÃO_A)

```
bwtracert -T traceroute -4 -c $INSTITUIÇÃO_B -s $INSTITUIÇÃO_A
```

Por exemplo:

```
root@dpd-rj-note04: ~
root@dpd-rj-note04:~# bwtracert -T traceroute -4 -c perfsonar.ampath.net -s ps-bw.sdmz.rnp.br
bwtracert: Using tool: traceroute
bwtracert: 17 seconds until test results available

SENDER START
traceroute to 190.103.184.146 (190.103.184.146), 30 hops max, 60 byte packets
 1 200.143.243.1 (200.143.243.1)  1.268 ms  1.265 ms  1.259 ms
 2 rj-lanrj2.bkb.rnp.br (200.143.255.165)  0.195 ms  0.215 ms  0.210 ms
 3 rj-sp2-oi.bkb.rnp.br (200.143.253.221)  7.921 ms  7.942 ms  7.937 ms
 4 br-rnp.redclara.net (200.0.204.213)  9.484 ms  9.494 ms  sp-sp2.bkb.rnp.br (200.143.253.37)  7.
 5 br-rnp.redclara.net (200.0.204.213)  9.492 ms  9.566 ms  9.641 ms
 6 190.103.184.94 (190.103.184.94)  125.319 ms  125.264 ms  125.368 ms
 7 ps-lt.ampath.ampath.net (190.103.184.146)  125.043 ms  125.264 ms  125.265 ms

SENDER END
root@dpd-rj-note04:~# █
```

Onde: \$INSTITUIÇÃO_A e \$INSTITUIÇÃO_B são os nomes ou endereços IP dos servidores ou das máquinas de medição.

Sentido de ida (INSTITUIÇÃO_A → INSTITUIÇÃO_B) usando o iperf3

```
bwctl -T iperf3 -f m -t 30 -i 2 -x -c $INSTITUIÇÃO_A  
-s $INSTITUIÇÃO_B
```

Por exemplo:

```
root@dpd-rj-note04: ~  
root@dpd-rj-note04:~# bwctl -T iperf3 -f m -t 30 -i 2 -x -c perfsonar.ampath.net -s ps-bw.sdmz.rnp.br  
bwctl: Using tool: iperf3  
bwctl: 420 seconds until test results available  
  
RECEIVER START  
-----  
Server listening on 5751  
-----  
Accepted connection from 200.143.243.4, port 50936  
[ 15] local 190.103.184.146 port 5751 connected to 200.143.243.4 port 37666  
[ ID] Interval      Transfer      Bandwidth  
[ 15] 0.00-2.00    sec  0.00 Bytes  0.00 Mbits/sec  
[ 15] 2.00-4.00    sec  0.00 Bytes  0.00 Mbits/sec  
[ 15] 4.00-6.00    sec  512 Bytes  0.00 Mbits/sec  
[ 15] 6.00-8.00    sec  19.0 KBytes 0.08 Mbits/sec  
[ 15] 8.00-10.00   sec  45.7 KBytes 0.19 Mbits/sec  
[ 15] 10.00-12.00  sec  128 KBytes 0.53 Mbits/sec  
[ 15] 12.00-14.00  sec  1.53 MBytes 6.42 Mbits/sec  
[ 15] 14.00-16.00  sec  28.3 MBytes 119 Mbits/sec  
[ 15] 16.00-18.00  sec  92.8 MBytes 389 Mbits/sec  
[ 15] 18.00-20.00  sec  59.2 MBytes 248 Mbits/sec  
[ 15] 20.00-22.00  sec  50.7 MBytes 212 Mbits/sec  
[ 15] 22.00-24.00  sec  103 MBytes 431 Mbits/sec  
[ 15] 24.00-26.00  sec  182 MBytes 764 Mbits/sec  
[ 15] 26.00-28.00  sec  190 MBytes 798 Mbits/sec  
[ 15] 28.00-30.00  sec  190 MBytes 798 Mbits/sec  
[ 15] 30.00-30.13  sec  11.9 MBytes 798 Mbits/sec  
-----  
[ ID] Interval      Transfer      Bandwidth      Retr  
[ 15] 0.00-30.13   sec  917 MBytes  255 Mbits/sec  267  
[ 15] 0.00-30.13   sec  910 MBytes  253 Mbits/sec  
-----  
RECEIVER END  
  
SENDER START  
Connecting to host 190.103.184.146, port 5751  
[ 15] local 200.143.243.4 port 37666 connected to 190.103.184.146 port 5751  
[ ID] Interval      Transfer      Bandwidth      Retr  Cwnd  
[ 15] 0.00-2.00    sec  87.4 KBytes  0.36 Mbits/sec  2   26.2 KBytes  
[ 15] 2.00-4.00    sec  0.00 Bytes  0.00 Mbits/sec  1   26.2 KBytes  
[ 15] 4.00-6.00    sec  181 KBytes  0.74 Mbits/sec  1   10.0 KBytes  
[ 15] 6.00-8.00    sec  0.00 Bytes  0.00 Mbits/sec  35  2.00 KBytes  
[ 15] 8.00-10.00   sec  0.00 Bytes  0.00 Mbits/sec  0   5.00 KBytes  
[ 15] 10.00-12.00  sec  221 KBytes  0.91 Mbits/sec  0   32.0 KBytes  
[ 15] 12.00-14.00  sec  2.60 MBytes 10.9 Mbits/sec  0   624 KBytes  
[ 15] 14.00-16.00  sec  33.0 MBytes 138 Mbits/sec  0   3.55 MBytes  
[ 15] 16.00-18.00  sec  101 MBytes 425 Mbits/sec  0   8.77 MBytes  
[ 15] 18.00-20.00  sec  60.0 MBytes 252 Mbits/sec  228 2.48 MBytes  
[ 15] 20.00-22.00  sec  50.0 MBytes 210 Mbits/sec  0   4.48 MBytes  
[ 15] 22.00-24.00  sec  104 MBytes 435 Mbits/sec  0   9.44 MBytes  
[ 15] 24.00-26.00  sec  185 MBytes 776 Mbits/sec  0  12.1 MBytes  
[ 15] 26.00-28.00  sec  191 MBytes 802 Mbits/sec  0  12.1 MBytes  
[ 15] 28.00-30.00  sec  190 MBytes 797 Mbits/sec  0  12.1 MBytes  
-----  
[ ID] Interval      Transfer      Bandwidth      Retr  
[ 15] 0.00-30.00   sec  917 MBytes  257 Mbits/sec  267  
[ 15] 0.00-30.00   sec  910 MBytes  254 Mbits/sec  
-----  
iperf Done.  
  
SENDER END  
root@dpd-rj-note04:~# █
```

Sentido de volta (INSTITUIÇÃO_B → INSTITUIÇÃO_A) usando o **nuttcp**

```
bwctl -T nuttcp -f m -t 30 -i 2 -x -c $INSTITUIÇÃO_B  
-s $INSTITUIÇÃO_A
```

Sentido de volta (INSTITUIÇÃO_B → INSTITUIÇÃO_A) usando o **iperf3**

```
bwctl -T iperf3 -f m -t 30 -i 2 -x -c $INSTITUIÇÃO_B  
-s $INSTITUIÇÃO_A
```

Sempre que possível, é importante usar pontos intermediários no caminho fim-a-fim para realização destas medições, de forma a facilitar a identificação de gargalos ao longo do caminho.

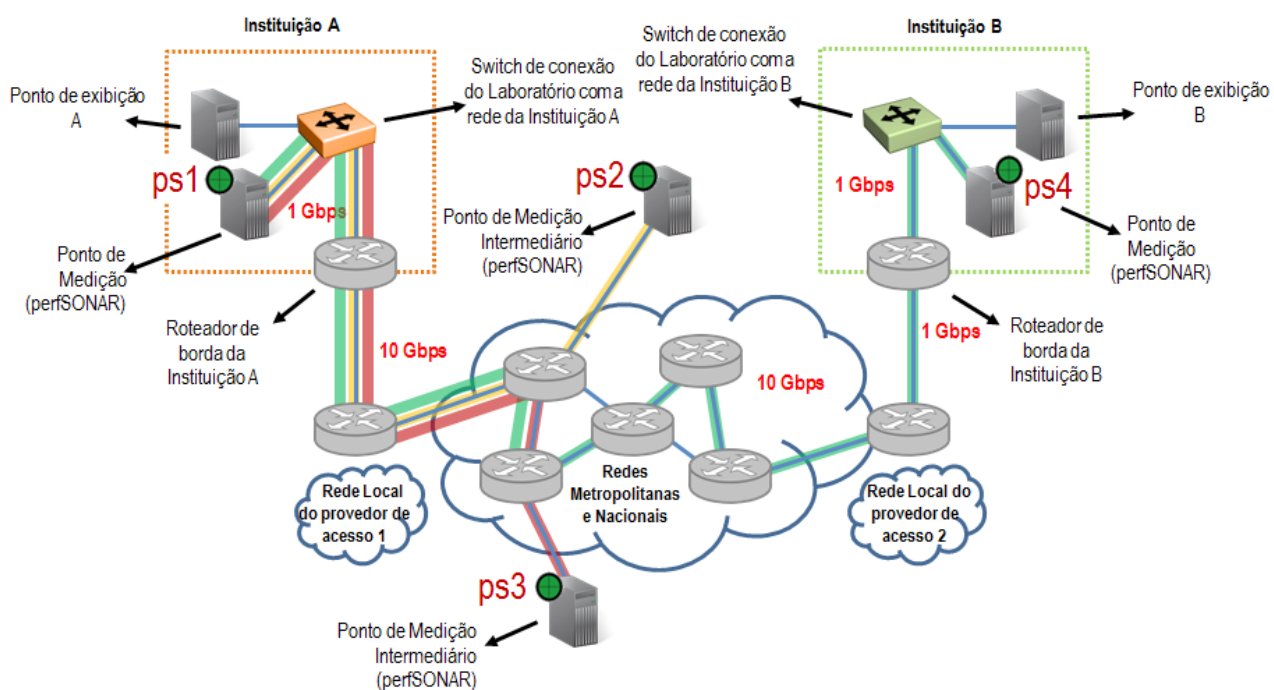


Figura 5. Usando pontos intermediários com perfSONAR para medições ao longo do caminho fim-a-fim.

4 - Questionário para diagnóstico de problemas

Após a análise dos resultados obtidos pelas medições descritas nas seções anteriores, caso sejam observados problemas de rede, o questionário a seguir poderá auxiliar no diagnóstico.

1. Existe largura de banda disponível no caminho fim-a-fim suficiente para atender a demanda do espetáculo de música e dança em rede?
 - a. Se sim, ok!
 - b. Se não, quais são os pontos da rede onde a largura de banda disponível torna-se insuficiente?
2. Você tem gerência sobre estes pontos da rede onde a largura de banda disponível torna-se insuficiente?
 - a. Se sim, procure corrigir o problema.
 - b. Se não, procure quem pode atuar dependendo se o ponto da rede está dentro ou fora dos limites administrativos da sua instituição.
3. Quais são os limites de atraso, variação do atraso e perda de pacotes necessários para conduzir o espetáculo? Estes limites foram obtidos a partir dos resultados dos testes?
 - a. Se sim, ok!
 - b. Se não, o que pode ser feito para alcançá-los?
4. O roteamento é simétrico?
 - a. Se sim, ok!
 - b. Se não, deve-se entrar em contato com a equipe do departamento técnico da rede, em ambas instituições onde encontram-se os pontos de captura e exibição, para verificar configurações de rede.
5. Existem disponíveis nas redes que conectam os pontos de captura e exibição, tecnologias que para garantir a largura de banda disponível, reduzir ou eliminar a incidência de *jitter* e de perda de pacotes, tal como a configuração de circuitos virtuais dedicados?
 - a. Se sim, ok! Solicite o uso destas tecnologias às equipes técnicas do departamento de redes.
 - b. Se não, busque alternativas em conversas com ambas equipes técnicas de rede das instituições onde se encontram os pontos de captura e exibição e as redes acadêmicas envolvidas no caminho fim-a-fim.

5 - Conclusões

A RNP não é a única rede acadêmica a apoiar espetáculos telemáticos. Existem redes de educação e pesquisa em outros países, que também apoiam o desenvolvimento de aplicações e a criação de grupos de trabalho para auxiliar a realização de ciberperformances (Doyle, 2014; Faridah, 2006; Géant, 2015). Isso acontece por que aplicações multimídia interativas são muito sensíveis à qualidade da rede, pois qualquer falha não devidamente corrigida na transmissão pode ser facilmente percebida pelos usuários na forma de distorções, atrasos ou dessincronização de áudio e/ou de vídeo.

Estas “falhas” afetando transmissões multimídia são inerentes à internet, que é uma rede de comunicação que possui diversos caminhos para transmissão de dados entre dois pontos. Aliás, essa característica foi fundamental para o sucesso da internet. Se um segmento da rede falhar ou estiver congestionado, a transmissão de dados é dinamicamente roteada por outro caminho - que pode vir a ser mais longo que o caminho previamente usado, modificando o atraso e aumentando a sua variação.

Para evitar os problemas da variação de atraso excessiva e a inadequação da banda passante, o remédio é fixar a rota usada e garantir (sobreaprovisionar) a largura de banda disponível para a transmissão, uma técnica também chamada de definir um circuito virtual com garantia de largura de banda. A disponibilidade deste recurso hoje em dia é consequência do aumento da qualidade e capacidade das redes acadêmicas, e a grande colaboração entre elas em apoio a projetos conjuntos. Em outras palavras, a realização de performances telemáticas é um excelente demonstração de qualidade da rede acadêmica global, formada pela forte colaboração entre as diferentes redes acadêmicas, nacionais e continentais, que servem a comunidade acadêmica global.

É importante reconhecer que, hoje em dia, é impraticável solicitar a um provedor comercial a confecção de um circuito virtual personalizado para atender as localidades de um espetáculo telemático, exceto no caso raro de toda a rota fim-a-fim pertencer à rede de um único provedor, pois é inexistente a efetiva colaboração entre provedores concorrentes para, juntos, prover qualidade de serviço.

Em contrapartida, é de praxe as redes acadêmicas colaborarem entre si, a custo zero, para prover suporte de rede fim-a-fim para demonstrações de dança/música distribuída. No espetáculo “*Dancing Beyond Time*”, por exemplo, a rede HPDMnet (High Performance Digital Media Network) foi usada para a transmissão de áudio e vídeo entre as localidades. HPDMnet é um consórcio entre algumas redes acadêmicas que provê uma infraestrutura de rede virtual dedicada para transmissões multimídias. Este é apenas um exemplo não-raro de como as redes de ensino e pesquisa colaboram entre si para apoiar espetáculos de arte e música em rede.

Este artigo apresentou uma compilação de melhores práticas para determinar as condições de rede necessárias para a realização de um espetáculo telemático, baseado na experiência dos autores no apoio técnico a esse tipo de evento.

Agradecimento

As informações apresentadas na seção 3 são inspiradas em guias de verificação de desempenho e diagnóstico de rede gentilmente compartilhados por Jason Zurawski da ESnet.

Referências

- RNP lança rede multigigabit com espetáculo de dança interativo. RNP, 2005. Disponível em: <https://memoria.rnp.br/imprensa/2005/rel-O51116.html> Acesso em 17 de agosto de 2015.
- SANTANA, Ivani. Apropriação da Dança em linguagem interativa no ciberespaço. IV Reunião Científica de Pesquisa e Pós-Graduação em Artes Cênicas, 2010.
- DOYLE, Ann; TRIEGER, Justin et al. Performing Arts Production over Advanced Networks 2014 Workshop. TERENA, 2014. Disponível em: <http://events.internet2.edu/2014/nws/index.html> Acessado em 17 de agosto de 2015.
- Faridah Noor Mohd; Goo BonCheo; Andrew Howard et al. APAN e-Culture Working Group, 2006. Disponível em: <https://www.apan.net/wg/eculture.php> Acessado em 17 de agosto de 2015.
- GÉANT; LOLA. enabling real-time musical collaboration. Disponível em: <http://geant3.archive.geant.net/Users/ArtsandCulture/Pages/LOLA.aspx> Acesso em 17 de agosto de 2015.
- HPDMnet. Disponível em: <http://www.hpdmnet.net/> Acesso em 17 de agosto de 2015.
- Joe Mambretti, Mathieu Lemay, Scott Campbell, Hervé Guy, Thomas Tam, Eric Bernier, Bobby Ho, Michel Savoie, Cees de Laat, Ronald van der Pol, Jim Hao Chen, Fei Yeh, Sergi Figuerola, Pau Minoves, Dimitra Simeonidou, Eduard Escalona, Norberto Amaya Gonzalez, Admela Jukan, Wolfgang Bziuk, Dongkyun Kim, Kwangjong Cho, Hui-Lan Lee, Te-Lung Liu: High Performance Digital Media Network (HPDMnet): An advanced international research initiative and global experimental testbed. *Future Generation Comp. Syst.* 27(7), p. 893-905, 2011
- PERformance Service Oriented Network monitoring Architecture (PerfSONAR). 2015. Disponível em: <http://www.perfsonar.net/> Acesso em 17 de agosto de 2015.

Sobre os autores

Alex Moura Possui mestrado em Informática pela Universidade Federal do Estado do Rio de Janeiro (2009). Atualmente é gerente de P&D da RNP e professor do Instituto Infnet. Tem experiência na área de Ciência da Computação, com ênfase em Teleinformática, atuando principalmente nos seguintes temas: redes de computadores, roteamento, protocolo de roteamento, detecção de anomalias e segurança da informação.

Clayton Reis é coordenador de P&D na RNP. Possui Mestrado em Computação pela Universidade Federal Fluminense (2012). **Gustavo Dias** é coordenador de P&D na RNP, Professor Assistente na UniCarioca e Tutor Presencial do Consórcio CEDERJ no Polo de Duque de Caxias/RJ. Possui Mestrado em Engenharia de Sistemas e Computação pela COPPE/UFRJ (2008).

Iara Machado é Diretora Adjunta de P&D na RNP. Suas atividades envolvem colaboração com a comunidade de pesquisa em Redes de Computadores e Sistemas Distribuídos, no desenvolvimento de Redes e Aplicações avançadas. Graduada em Física pela UFRJ e Mestre em Redes de Computadores e Sistemas Distribuídos pela UFF.

Leandro Ciuffo trabalha na Rede Nacional de Ensino e Pesquisa (RNP) como gerente de P&D para comunidades e aplicações avançadas. Desde 2011 ele coordenada o Programa de P&D em Aplicações Avançadas de Visualização Remota, que inclui transmissões de conteúdos em ultra-alta definição pela Internet. Leandro possui mestrado em Computação pela Universidade Federal Fluminense -UFF (2005).

Michael Stanton é possui graduação (em 1967) e doutorado (em 1971) em Matemática pela Universidade de Cambridge. Entre 1994 e 2014 foi professor titular do Instituto de Computação da Universidade Federal Fluminense e, desde 2002, é diretor de pesquisa e desenvolvimento (antes, de inovação) da Rede Nacional de Ensino e Pesquisa (RNP). Tem experiência na área de Ciência da Computação, com ênfases em Matemática Numérica, Sistemas de Computação, Linguagens de Programação, Sistemas Distribuídos e Redes de Computadores. Nesta última área atua principalmente nos temas: arquitetura de redes de computadores e engenharia de redes. É responsável pelo desenvolvimento, junto com pesquisadores da comunidade nacional, de novos serviços de Internet Avançada para os usuários da RNP. Adicionalmente supervisiona a evolução tecnológica das redes, com a introdução do uso de lightpaths para aplicações demandantes, e o planejamento da próxima versão da rede da RNP em 2011, com o provisionamento dinâmico de lightpaths ao lado do tráfego IP. Procura ativamente o engajamento da RNP e da comunidade nacional de pesquisa em redes em projetos de colaboração internacional, mais recentemente na linha de Internet do Futuro, onde a RNP tem atuação destacada nos projetos INCT Ciência Web (CNPq) e Experimentação no Futuro da Internet entre BRasil e Europa (FIBRE), financiado em conjunto pelo CNPq e a CE (FP7)