

Universidade Federal de Campina Grande  
Centro de Engenharia Elétrica e Informática  
Coordenação de Pós-Graduação em Ciência da Computação

# GMTP: Distribuição de Mídias Ao Vivo através de uma Rede de Favores Constituída entre Roteadores

Leandro Melo de Sales

Tese de Doutorado submetida à Coordenação do Curso de Pós-Graduação em Ciência da Computação da Universidade Federal de Campina Grande - Campus I como parte dos requisitos necessários para obtenção do grau de Doutor em Ciências, domínio da Ciência da Computação.

Área de Concentração: Ciência da Computação  
Linha de Pesquisa: Redes de Computadores e Sistemas Distribuídos

Angelo Perkusich e Hyggo Almeida  
(Orientadores)

Campina Grande, Paraíba, Brasil  
©Leandro Melo de Sales, 03/03/2014

## **Resumo**

## **Abstract**

## **Agradecimentos**

# Conteúdo

<b>1</b>	<b>Análise do Projeto e do Desempenho do GMTP</b>	<b>1</b>
1.1	Análise do Projeto . . . . .	2
1.1.1	Arquitetura e modelo de serviço do GMTP . . . . .	2
1.1.2	Comparativo: GMTP, Denacast/CoolStreaming e CCN . . . . .	4
1.2	Avaliação de Desempenho . . . . .	11
1.2.1	Objetivo e hipótese . . . . .	11
1.2.2	Topologia de rede . . . . .	12
1.2.3	Definição das variáveis e parâmetros dos sistemas estudados . . . . .	13
1.2.4	População e amostras . . . . .	16
1.2.5	Tratamentos . . . . .	16
1.2.6	Instrumentação . . . . .	18
1.2.7	Formato da mídia . . . . .	19
1.3	Resultados e Discussões . . . . .	19
1.3.1	Qualidade de serviço à aplicação . . . . .	20
1.3.2	Escalabilidade dos sistemas . . . . .	24
1.3.3	Sobrecarga de controle . . . . .	24
1.3.4	Sumarização dos resultados . . . . .	25
1.4	Sumário do Capítulo . . . . .	25
<b>A</b>	<b>Detalhes dos Experimentos</b>	<b>32</b>
A.1	Largura de Banda e Atraso de Propagação Utilizados na Rede Simulada . . . . .	32
A.2	Quantidade de Ensaios . . . . .	33
A.3	Resultados Compilados . . . . .	34

# Lista de Símbolos

3WHS – *Three Way Hand Shake*

ALTO – *Application-Layer Traffic Optimization*

ALM – *Application Layer Multicast*

BSD – *Berkley Software Distribution*

CCID – *Congestion Control IDentifier*

CCN – *Content Centric Networks*

CPM – *Cooperative Peer Assists and Multicast*

DASH – *Dynamic Adaptive Streaming over HTTP*

DCCP – *Datagram Congestion Control Protocol*

ECN – *Explicit Congestion Notification*

GMTP – *Global Media Transport Protocol*

HLS – *HTTP Live Streaming*

HDS – *HTTP Dynamic Streaming*

HySAC – *Hybrid Delivery System with Adaptive Content Management for IPTV Networks*

IANA – *Internet Assigned Numbers Authority*

ICN – *Information Centric Networks*

IETF – *Internet Engineering Task Force*

ITU-T – *International Telecommunication Union – Telecommunication Section*

NDN – *Named-Data Networks*

PDTP – *Peer Distributed Transfer Protocol*

POSIX – *Portable Operating System Interface*

PPETP – *Peer-to-Peer Epi-Transport Protocol*

PPSP – *P2P Streaming Protocol*

RCP – *Rate Control Protocol*

RTO – *Retransmission Timeout*

RTP – *Real Time Protocol*

RTSP – *Real Time Streaming Protocol*

RTT – *Round Trip Time*

SCTP – *Stream Control Transmission Protocol*

SIP – *Session Initiation Protocol*

Swift – *The Generic Multiparty Transport Protocol*

TCP – *Transport Control Protocol*

TFRC – *TCP Friendly Rate Control*

TTL – *Time-To-Live*

UDP – *User Datagram Protocol*

URI – *Uniform Resource Identifier*

VCP – *Variable-Structure Congestion Control Protocol*

XCP – *eXplicit Control Protocol*

# Lista de Figuras

1.1	Versão resumida do <i>backbone</i> da rede GÉANT. . . . .	12
1.2	Exemplo de cálculo das variáveis dependentes ST, IC. Nesse caso, o valores ST = 4 s e IC = 70 %. . . . .	15
1.3	Taxa de bits variáveis dos primeiros 200 s da média utilizada no experimento ( <i>Star Wars IV</i> ). . . . .	19
1.4	Resultado dos tratamentos (1 – 18) para a métrica <i>Atraso de Inicialização</i> . .	20
1.5	Resultado dos tratamentos (1 – 18) para a métrica <i>Índice de Continuidade</i> . .	24
1.6	Resultado dos tratamentos (1 – 18) para a métrica <i>Distorção</i> . . . . .	25
1.7	Resultado dos tratamentos (1 – 18) para a métrica <i>Número de Conexões ao Servidor</i> . . . . .	26
1.8	Resultado dos tratamentos (1 – 18) para a métrica <i>Número de Conexões entre Clientes</i> . . . . .	27
1.9	Resultado dos tratamentos (1 – 18) para a métrica <i>Número de Pacotes de Controle</i> . . . . .	28



# Lista de Tabelas

1.1	Tabela das variáveis independentes utilizados no experimento. . . . .	14
1.2	Tabela dos fatores consideradas no experimento. . . . .	14
1.3	Tabela das variáveis dependentes (respostas) consideradas no experimento.	16
1.4	Tabela dos tratamentos executados no experimento. . . . .	17
1.5	Tabela das propriedades da mídia transmitida. . . . .	19
A.1	Largura de banda e atraso de propagação utilizados na rede simulada. . . .	32
A.2	Sumário dos valores obtidos para as variáveis dependentes em cada trata- mento do confronto GMTP vs. Denacast/CoolStreaming. . . . .	35
A.3	Sumário dos valores obtidos para as variáveis dependentes em cada trata- mento do confronto GMTP vs. CCN-TV. . . . .	39

# **Lista de Algoritmos**

# Capítulo 1

## Análise do Projeto e do Desempenho do GMTP

- COLOCAR ALGUM GRÁFICO NA PROBLEMÁTICA ENTRE O DENACAST/CoolStreaming e o NDN (provavelmente o gráfico de distorção) - Melhorar o capítulo do GMTP em duas coisas: cabeçalho genérico e a parte de seleção dos melhores caminhos com base na capacidade atual do canal (o problema que pode ocorrer é de flash-crowd)

Neste capítulo apresenta-se uma análise de projeto e avaliação de desempenho do protocolo GMTP frente às propostas Denacast/CoolStreaming [1,2] e o CCN-TV [3]. Considerou-se dois principais critérios de seleção dessas propostas, em comparação ao GMTP: similaridade arquitetural e as estratégias para distribuição de mídias ao vivo. Tratam-se de duas propostas que adotam a maioria das estratégias disponíveis no estado da prática/arte para o fim que se discute, referenciadas na literatura e acessíveis para estudos comparativos. Nesse contexto, considera-se que as avaliações são equânimes, pois o Denacast/CoolStreaming estende o funcionamento do CoolStreaming para dar suporte a uma estrutura P2P/CDN, o CCN-TV faz uso de uma infraestrutura que considera mais efetivamente o suporte da rede para otimizar o acesso aos dados e o GMTP essencialmente explora uma estratégia híbrida considerando-se estes concorrentes.

Primeiramente, na Seção 1.1, analisa-se o projeto GMTP no tocante aos seus benefícios e funcionalidades, bem como uma comparação de projeto (arquitetura e modelo de serviço) frente ao Denacast/CoolStreaming e o CCN-TV. Em seguida, inicia-se a fase de avaliação do GMTP. Primeiramente, na Seção 1.2, apresenta-se a metodologia de avaliação de desem-

penho do GMTP. Em seguida, na Seção 1.3, estabelecem-se confrontos entre o GMTP e os sistemas supracitados, apresentando-se os resultados e discussões dos sistemas estudados. Por fim, na Seção 1.4, apresenta-se o sumário deste capítulo.

## 1.1 Análise do Projeto

Após apresentar detalhes do protocolo GMTP no Capítulo ??, nesta seção, objetiva-se justificar a proposta do GMTP não apenas como um protocolo com o apelo de reduzir a complexidade dos recursos disponibilizados na camada de aplicação e interoperabilidade, mas também apresentar que um conjunto mínimo de serviços, quando organizados de forma mais apropriada (nas camadas inferiores), tornam-se equivalentes aos recursos dos atuais sistemas, promovendo-se melhorias substanciais tanto no projeto das aplicações quanto no uso dos recursos de rede. A consequência disso é um melhor serviço de rede que pode ser ofertado à camada de aplicação e a própria extensibilidade do protocolo (evolução da solução).

Nesse contexto, organizou-se esta seção em duas partes. Primeiramente, analisa-se as funções do GMTP e os consequentes benefícios e, em seguida, apresenta-se uma comparação de projeto entre o GMTP, o Denacast/CoolStreaming e o CCN-TV. Este entendimento permitirá o melhor entendimento dos resultados apresentados na avaliação de desempenho do GMTP, a partir da Seção 1.2.

### 1.1.1 Arquitetura e modelo de serviço do GMTP

Como já apresentado na problemática deste trabalho, os sistemas de distribuição de mídias ao vivo enfrentam problemas que acarretam os seguintes requisitos de aplicação, cada um com seus desafios: melhor forma para permitir conexão multi-ponto e tratamentos de diferentes topologias, de realizar seleção de nós parceiros e tolerar falhas, bem como outros problemas causados pelo dinamismo da rede, disponibilizar informação de contexto sobre a rede para dar suporte à execução dos serviços das aplicações (localização da rede, medições de custos entre redes), incentivar à cooperação entre nós, inibir a participação de nós *free-riders*, adaptar o fluxo de dados baseado na capacidade de recepção dos nós e promover segurança, por exemplo, contra ataques de poluição.

Ao observar esses requisitos, cada um com seus desafios, enumeram-se 7 principais benefícios promovidos pelo GMTP, tanto para os sistemas de distribuição de mídias ao vivo quanto para a rede, relacionando-os com os recursos atualmente empregados nos sistemas de distribuição de mídias ao vivo.

1. *Otimização arquitetural:* das aplicações existentes... cliente/servidor, p2p/cdn... usar a palavra automático para criação de canais multicast, inclusive entre diferentes domínios administrativos, uso transparente de estratégias de redes de favores e cdn
2. *Interoperabilidade entre sistemas:* conexão, unifica... unifica as aplicações clientes no ponto de vista do processo de conexão e obtenção dos dados, uma vez que todo esse processo ocorre na camada de transporte sem qualquer influência da aplicação. Isto significa que se existir um nó executando um cliente do sistema PPLive e um outro cliente do sistema SopCast, portanto desenvolvido por equipes diferentes, ambos ainda sim serão compatíveis e capazes de cooperar entre si na obtenção do fluxo de mídia de interesse comum; "Arquiteturalmente, o GMTP resolve o problema de permitir a interoperabilidade dos sistemas e otimiza o uso de recursos de rede ..."
3. *Facilidade na integração:* das aplicações existentes... falar da api socket
4. *Melhor utilização dos recursos de rede:* controle de congestionamento assistido pela rede, tragédia dos bens comuns...
5. *Flexibilidade de uso:* gmtip-inter gmtip-intra extensibilidade, o cara pode fazer um novo gmtip-intra e usar tudo do gmtip-inter
6. *Eliminação de recursos paliativos e fenômenos consequentes:* das aplicações por quê? pegar a lista abaixo e meter o pau!
7. *Generalização de boas práticas e abstração da complexidade:* citar o que era de aplicação e foi pra dentro do GMTP. - O GMTP não é um protocolo multicast fim-a-fim, mas usa multicast na rede local: evitar problemas de integração (ver se isso fica nesse item)

### 1.1.2 Comparativo: GMTP, Denacast/CoolStreaming e CCN

#### GMTP vs. Denacast/CoolStreaming:

1. O conceito de sub-fluxo adiciona complexidade à solução sem necessariamente resultar em melhor desempenho. Em [4], os autores do CoolStreaming discutem que aumentar a quantidade de número de sub-fluxos não melhora proporcionalmente algumas métricas, como o índice de continuidade e utilização da capacidade de *upload* dos nós transmissores (em média). Os autores executaram simulações com 40 mil nós e 24 servidores auxiliares (que funcionaram apenas como nós transmissores) e observaram que a partir de 8 sub-fluxos, as duas métricas citadas anteriormente não evoluem positivamente, piorando em alguns casos (quando se utiliza nós com capacidade heterogêneas de transmissão). No GMTP, utiliza-se sempre o método *push* após um nó estabelecer uma conexão e os roteadores no caminho entre o nó servidor e o nó cliente podem interceptar os pedidos de conexão transmitidos por outros nós clientes. Essa estratégia reduz a quantidade de requisições ao servidor e o tempo para iniciar a reprodução de um vídeo ao usuário final (apenas o primeiro usuário perceberá um atraso maior do que os demais). Com isso, se no caminho entre o nó cliente e o nó servidor não ocorrer nenhuma interceptação, a requisição alcançará o nó servidor, e a troca de dados ocorrerá normalmente. Em seguida, os próximos nós clientes que transmitirem pedidos de conexão e o pacote de requisição for roteado através de pelo menos parte do mesmo caminho já utilizado anteriormente, um nó servidor instruirá um roteador nesse caminho a replicar o fluxo para o novo nó cliente, em vez de responder com a aceitação do pedido de conexão.
2. No sistema CoolStreaming, a rede de sobreposição é centrada no dado. Os nós realizam parcerias considerando quais parceiros possuem as partes da mídia de interesse e a mudança de parcerias ocorre ao longo da transmissão. Isso gera instabilidades na transmissão, impactando diretamente em métricas como o índice de continuidade. Além disso, as parcerias são efetivadas independente da posição do nó na rede de sobreposição, levando-se em consideração apenas o nó que detém um determinado conteúdo de interesse e sua capacidade de *upload*, o que pode gerar sobrecarga na troca de informações de controle. No GMTP, a rede de sobreposição é centrada na conexão e a

constituição de tal rede ocorre de forma transparente à aplicação. A formação da rede acontece no processo de pedido de conexão, onde os nós intermediários (roteadores), localizados entre o nó interessado pela mídia (cliente) o nó transmissor (servidor), são autorizados a interceptar o pedido de conexão e responder ao nó cliente como se fosse o servidor original. Somente depois dessa fase, os nós roteadores GMTP iniciam um processo de expansão de parcerias, onde podem realizar parcerias com outros nós que não estejam, necessariamente, conectados em um mesmo servidor da CDN.

3. Os nós da rede de sobreposição do sistema CoolStreaming são os sistemas finais, que executam aplicações de rede. No GMTP, constitui-se uma rede de sobreposição entre os roteadores e não entre os sistemas finais. Dessa forma, a rede se torna estável com relação a dinâmica de entradas e saídas de nós clientes, sendo possível continuar utilizando temporariamente os recursos de um roteador, mesmo quando seus nós clientes desistem de continuar obtendo a mídia de interesse (se o usuário fechar o aplicativo, por exemplo).
4. Um nó recém integrado à rede DONet pode levar muito tempo (em alguns casos 20 segundos) para obter os primeiros blocos de vídeo e assim iniciar a reprodução do conteúdo ao usuário final. Isto porque, ao se juntar à rede, um nó solicita o mapa de *buffer* a um conjunto de nós parceiros informados por um servidor de *bootstrap*. Porém, o desafio é definir a partir de qual ponto do *buffer* um nó deve começar a solicitar os blocos de vídeo. Por exemplo, se o novo nó requisitar um bloco de vídeo muito antigo, pode ser que tal bloco de vídeo não esteja mais disponível, já que o nó cliente o remove após sua reprodução. Por outro lado, se o nó requisitar um bloco de vídeo muito recente, pode ser que nenhum de seus nós parceiros tenha disponível. No GMTP, situações como essas não ocorrem porque se utiliza, por padrão o método *push*, além do mais, as últimas partes da mídia já podem estar disponíveis no roteador, quando há outros clientes anteriores recebendo o fluxo de dados correspondente. Outras decisões nesse sentido foram tomadas no GMTP, em destaque no Capítulo ??.
5. A seleção de nós no sistema CoolStreaming ocorre com base na escolha aleatória de um sub-conjunto de nós disponíveis em uma lista de parceiros. Após realizar parcerias com um sub-conjunto de nós, um nó começa a receber os blocos de vídeo, ao mesmo

tempo que monitora o status de recepção dos sub-fluxos, transmitidos por diferentes nós parceiros. Quando um nó percebe que a taxa de recepção não está satisfatória, inicia-se um processo para selecionar novos nós parceiros. A grande questão é definir quando, de fato, a taxa de recepção não está sendo suficiente. Para isso, monitora-se o *buffer* de recepção dado um sub-fluxo  $j$  transmitido por um nó  $C_1$  ao nó  $C_2$ , observando as inequações ?? e ??,

6. A estratégia de seleção de nós aplicado no CoolStreaming é muito complexa porque exige o monitoramento constante dos buffers dos sub-fluxos, o que implica em exaustivas trocas de mapa de *buffer*, dependendo da quantidade de nós no conjunto *parents* e *partners* para um dado nó  $C_2$ . A consequência disso é um aumento expressivo de pacotes de controle entre os nós parceiros e seus nós pais, além da transmissão de pacotes de dados contendo as partes da mídia. No GMTP, as parcerias são formadas de uma forma bastante diferente, que basicamente consiste em envolver um algoritmo de controle de congestionamento assistido pela rede, que compartilha a sua capacidade de transmissão em um determinado instante  $t$ . Dessa forma, tanto um nó receptor quanto o nó transmissor conhecem a capacidade máxima de transmissão no canal que separa ambos. Sendo assim, o nó transmissor ajusta sua taxa de transmissão em direção ao nó receptor de acordo com a taxa de transmissão disponível em qualquer pacote de dados. Como já se sabe, no GMTP, os nós são os roteadores de rede, que simplesmente repassam para os clientes os fluxos de dados que contém partes da mídia. Esse assunto será retomado no próximo capítulo.

DENACAST: No ponto de vista da rede P2P, as considerações sobre o sistema Denacast são similares ao caso do CoolStreaming. Com relação a arquitetura geral, o Denacast tem uma melhor organização da rede de sobreposição devido ao uso de servidores de uma rede CDN. Isto permite um melhor agrupamento dos nós em uma determinada região da rede (delimitada pela localização do nó servidor da CDN). Nesse sentido, o Denacast escala melhor o número de nós e melhora as métricas de qualidade de serviço relacionadas à transmissão de uma mídia ao vivo se comparado ao CoolStreaming [1, 2].

O Denacast é o sistema que mais se aproxima ao GMTP, devido a sua estratégia de



unir diferentes redes de malha quando a quantidade de nós em uma determinada rede extrapola um determinado limite. Porém, como já foi discutido na Seção ??, em discussão sobre o CoolStreaming e que se estende ao Denacast, o GMTP oferece funções diferenciadas e detalhadas no Capítulo ?. Por esse motivo, reserva-se uma discussão mais detalhada sobre o Denacast em confronto com o GMTP para o Capítulo 1.

Com relação a arquitetura de rede ICN, em especial a NDN, e o GMTP, enumeram-se as seguintes comparações:

### **GMTP vs. Denacast/CoolStreaming:**

1. **ESSA VAI PARA DISCUSSÃO SOBRE PROJETO GMTP** Como discutiu-se no Capítulo ??, as aplicações de transmissão de mídias ao vivo possuem algumas peculiaridades que precisam ser tratadas nas camadas abaixo da aplicação, sendo praticamente impossível generalizar uma infraestrutura que sirva para fluxos de dados elásticos e inelásticos. Em geral, as redes ICN estão tendendo a considerar sua arquitetura mais genérica possível para permitir diferentes padrões de tráfego, mas isso não é trivial. Por outro lado, no GMTP, decidiu-se partir dos requisitos específicos dos sistemas de distribuição de mídias ao vivo e questionar sobre quais funções que se utilizam nesses sistemas que podem ser generalizadas pela rede. Sendo assim, o GMTP adiciona à rede IP, originalmente proposta para transportar fluxos de dados em sua maioria elásticos, a capacidade de prover funções comuns a todas as aplicações que transmitem fluxos de dados inelásticos.
2. **PARA PARA AVALIAÇÃO E PARTE PARA PROJETO:** Como consequência do item anterior, a rede NDN transmite mais pacotes de controle do que o GMTP por ter uma proposta de modelo de serviço mais genérico, baseado em *pulling*. No GMTP, propõe-se um modelo de serviço híbrido *push-pull*. Por ter um modelo de serviço mais específico para sistemas de distribuição de mídias ao vivo, no GMTP o mecanismo de *cache* das partes de uma mídia é mais simples de se implementar, pois utiliza-se uma estrutura de *buffer* circular, substituindo-se as partes da mídia à medida que se recebe as subsequentes, sem a necessidade do roteador transmitir, a todo instante, o equivalente ao que seria um pacote de interesse – o conceito de pacote de interesse da NDN não

existe para o GMTP. Em CCN, um dos grandes desafios é definir quanto tempo um dado deve permanecer em *cache*. Um outro desafio é determinar se o dado em *cache*, principalmente em aplicações elásticas, ainda é válido. Todas essas funções, aumentam a sobrecarga de controle nas redes ICN e, como já se sabe, em redes IP essas questões não é um problema. O GMTP apenas instrui os roteadores a realizar uma política mais sofisticada de repasse quando um pacote de dados é alocado na fila de roteamento, aproveitando a oportunidade de repassar o mesmo pacote em rotas adicionais, de acordo com a demanda.

3. PROJETO: Para executar as aplicações de rede existentes na Internet sobre uma rede ICN, serão necessárias alterações mais específicas nos sistemas de transmissão de mídias ao vivo. Em ICN, faz-se necessário que todas as aplicações mudem a lógica de requisição das partes da mídia, sendo necessário também alterar o esquema de identificação do conteúdo de interesse, que passa a ser por nome e não mais por endereço IP e número de porta. Além disso, há uma inversão na forma que uma aplicação obtém os dados quando se utiliza NDN. Em NDN, o nó cliente controla praticamente todas as funções de transporte de dados, como controle de perda/erro, controle de congestionamento e fluxo etc. Entretanto, atualmente, um nó cliente para obter um conteúdo multimídia, estabelece uma conexão informando implicitamente que deseja receber aquele fluxo, pois o endereço IP e porta já define indiretamente qual é o conteúdo. Ao perceber essa relação implícita, no GMTP, praticamente não será necessário alterar a aplicação, apenas mudar o valor do parâmetro do protocolo de transporte atual (em geral, UDP), pelo valor do protocolo GMTP. No GMTP, extrapola-se os limites da constituição de uma rede P2P na camada de aplicação. Em vez das aplicações realizarem tal função, os próprios roteadores realizam as parcerias entre si, ocorrendo no contexto de execução do GMTP. Com isso, não se delega à aplicação qualquer atividade específica sobre obtenção do conteúdo de interesse, seleção de nós, controle de congestionamento e definição de canais multicast. O esquema de requisição continua o mesmo, ou seja, os sistemas finais solicitam o conteúdo por endereço IP e porta, com a diferença que o GMTP internamente gera um nome (*hash*) combinando esses dois parâmetros, utilizando-o para implementar funções de compartilhamento de um mesmo fluxo de dados ao vivo e instruir os roteadores que realizem parcerias determinadas

- parcerias.
4. No ICN, o mecanismo que determina a interceptação de um pacote de interesse é limitado a verificação local se o fluxo de dados já está sendo recebido ou não, sem qualquer auxílio de qualquer outro nó. Por exemplo, no NDN, o nó servidor tem um papel coadjuvante, apenas respondendo pacotes de dados quando recebe um pacote de interesse, sem manter estado de conexão. No GMTP, o nó servidor tem um papel importante no processo de distribuição ao auxiliar a rede a decidir qual é a melhor rota para obter um fluxo de dados com base na interceptação de duas ou mais rotas conhecidas. De fato, há uma troca de serviços, pois o roteador também auxilia o servidor informando qual deve ser sua taxa ideal de transmissão. Já o auxílio do servidor à rede ocorre porque no procedimento de conexão do GMTP, registra-se no pacote de pedido de conexão, os identificadores de cada roteador. Esse identificador é único em toda rede e gerado pela combinação dos endereços MAC de todas as interfaces de rede. Ao receber um pacote de pedido de conexão, o nó servidor conhece por quais roteadores o pacote passou e então sugere a intersecção de outros caminhos já conhecidos, se possível, caso contrário, responde normalmente ao nó cliente.
  5. Nas redes ICN, ainda não é claramente definido o uso de soluções mais robustas de controle de congestionamento, sendo o foco das propostas em algoritmos tradicionais baseado em janelas deslizantes ou similares. Em diversas pesquisas recentes, demonstrou-se que utilizar os roteadores de rede para auxiliarem os sistemas finais no processo de controle de congestionamento, obtêm-se um melhor desempenho da rede, reduzindo-se o atraso e finalizando-se mais rapidamente os fluxos de curta duração, bem como permitindo o compartilhamento mais equânime dos recursos de rede. No GMTP, optou-se por utilizar tal abordagem, ainda estendendo-a ao permitir que o nó servidor sugira aos roteadores quais parcerias devem ser efetivadas, baseando-se na capacidade atual de transmissão dos canais conhecidos. Já nas ICNs, com pôde-se constatar, as pesquisas do estado da arte estão concentradas em fazer com o que o nó servidor disponibilize múltiplos fluxos de dados codificados em diferentes *bit-rates*, ao passo que os nós clientes devem monitorar sua capacidade de recepção e requisitar o fluxo apropriado. Porém, monitorar a capacidade de transmissão dos sistemas

finalis baseado apenas nas perdas de dados e atraso não é uma solução efetiva devido à dinâmica de entrada e saída dos nós da rede (*churn*).

6. Em NDN, requisitar cada pacote de dados pode introduzir uma significativa sobrecarga à rede, devido ao uso de largura de banda para transmitir a quantidade de pacotes de interesse igual à quantidade de pacotes de dados, aumentando a ocupação dos *buffers* dos roteadores. Como consequência, a rede NDN pode apresentar problemas de desempenho e escalabilidade, podendo apresentar significativos níveis de congestionamento. Para sistemas de distribuição de mídias ao vivo, isto pode ser ainda mais grave, pois estão sujeitos às condições de rede do canal de *upload* (do nó receptor ao nó transmissor, já que o nó cliente controla os serviços de transporte). Sendo assim, em caso de congestionamento no canal de *upload*, os pacotes de interesse podem sofrer atrasos ou descartes. Consequentemente, a rede não será capaz de transmitir os pacotes de dados correspondentes em tempo hábil ou nunca transmitir, caso o pacote de dado correspondente expire no cache de todos os roteadores, levantando questões sobre qual é o melhor momento de desistir de requisitá-lo e requisitar o próximo. Sendo assim, mesmo em cenários onde o canal de *download* esteja livre, os nós receptores podem experimentar uma baixa qualidade de serviço devido às perdas de pacotes de interesse, não necessariamente de pacotes de dados. Esses cenários são típicos em serviços de conexões residenciais, onde os *enlaces* são geralmente assimétricos em termos de largura de banda, por exemplo, ADSL. Atualmente, existe um estudo sobre introduzir uma função chamada de agregação de pacotes de interesse [5]. Nesse caso, um único pacote de interesse agregaria a requisição de múltiplos pacotes de dados. Entretanto, essa proposta ainda não é oficial e acarreta em outro problema. Por exemplo, a perda de um pacote de interesse agregado resultará na perda de múltiplos pacotes de dados, impactando diretamente na qualidade de serviço de uma aplicação de transmissão de mídia ao vivo. No ponto de vista prático, o usuário experimentará uma rajada de perda de pacotes de dados e a reprodução contínua será comprometida. Além disso, os pacotes de dados em NDN tem MTU de 8800 *bytes* ou de 4096 *bytes*, ao passo que em redes IP utiliza MTU, em geral, de 1500 *bytes*, ou seja, uma perde de um único pacote em NDN, perde-se mais dados de aplicação se comparado às redes IP.

=====

=====

- isso é tão verdade que na próxima seção serão comparadas uma aplicação gmtp, com um sistema proeminente atualmente e um sistema que segue uma proposta de uma arquitetura futura da internet.

## 1.2 Avaliação de Desempenho

Para realizar a comparação entre os sistemas supracitados, definiu-se a modalidade experimental em um ambiente de simulação de rede. Através da definição de uma topologia de rede que se aproxima do mundo real, variáveis independentes e fatores, mediu-se e analisou-se as principais métricas (variáveis dependentes) que determinam a satisfação do usuário ao assistir a um evento através de um sistema de distribuição de mídias ao vivo. Para isto, realizou-se um estudo detalhado do comportamento do GMTP, estudando-o em diferentes configurações de rede a fim de determinar suas vantagens, limites e os impactos que seus recursos podem gerar tanto sobre os nós quanto sobre a rede.

A seguir, apresentam-se detalhes do projeto experimental executado, organizado em objetivo e hipótese, topologia de rede, variáveis e fatores, população e amostras, tratamentos, instrumentação e formato da mídia.

### 1.2.1 Objetivo e hipótese

O objetivo do experimento foi avaliar o desempenho do GMTP com vistas à hipótese enunciada de que a constituição de uma rede de favores entre roteadores que interceptam, realizam *cache* temporário e compartilham pacotes de dados tanto em modo *multicast* (em redes locais) quanto em modo *unicast* (entre redes distintas), auxiliados por um algoritmo para controle de congestionamento assistido pela rede, resulta em uma melhor distribuição dos fluxos de mídias ao vivo.

Para provar esta hipótese, organizou-se a avaliação experimental em duas etapas. Na primeira etapa, confrontou-se o GMTP com o Denacast/CoolStreaming e, na segunda, confrontou-se o GMTP com o CCN-TV. Em ambas as etapas, analisaram-se os valores obtidos referentes às métricas que determinam a qualidade de serviço dos sistemas de distribui-

ção de mídias ao vivo, comparando-se o desempenho dos sistemas estudados.

### 1.2.2 Topologia de rede

Com esse norte, definiu-se a topologia da rede, como ilustra-se na Figura 1.1. Simulou-se uma versão resumida da rede GÉANT<sup>1</sup>, composta por 27 roteadores. No Apêndice A, Seção A.1, apresentam-se as configurações de cada roteador e seus enlaces no tocante à largura de banda e atraso de propagação, com base na legenda da Figura 1.1.

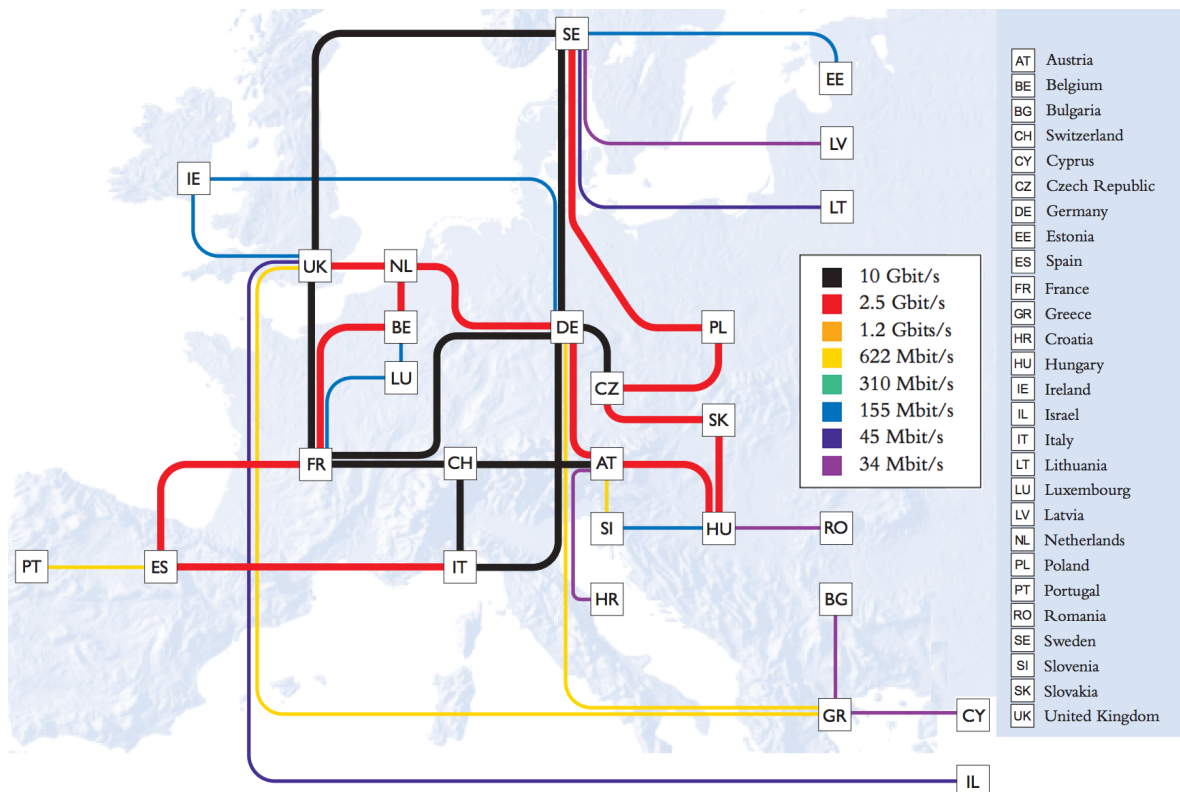


Figura 1.1: Versão resumida do *backbone* da rede GÉANT.

Com relação à conectividade dos nós clientes à rede, simulou-se redes locais através das quais os nós cliente estabeleceram conexões com os servidores. O objetivo foi simular redes institucionais (empresas, escolas, pequenos provedores, etc) e, para isto, gerou-se 27 sub-grafos aleatórios de um grafo completo, com 12 vértices (nós roteadores) e estabeleceu-se uma aresta entre dois vértices (enlace entre roteadores) da seguinte forma: iterou-se os 12 roteadores dois-a-dois, sorteando-se um número  $x \in [0, 1]$ . Com base no valor de  $x$ , decidiu-se

<sup>1</sup>Rede GÉANT é a rede de pesquisa e educação pan-europeia, que interliga as Redes Nacionais de Pesquisa e Educação da Europa (NRENs) atualmente com 41 roteadores: <http://www.geant.net/>.

com probabilidade de 60 % estabelecer um enlace entre os dois roteadores correspondentes à cada iteração. Além disso, assegurou-se o estabelecimento de pelo menos um enlace para cada roteador e determinou-se uma largura de banda de 100 *Mbps* e atraso de propagação de 1 *ms* entre todos os enlaces da rede local. Em seguida, para cada roteador do *backbone*, estabeleceu-se um enlace de 100 *Mbps* com um dos roteadores de uma das redes locais (escolhida aleatoriamente dentre as 27 geradas).

Por fim, os nós clientes foram distribuídos nas redes locais de forma sequencial, um para cada roteador até distribuir todos os clientes nas redes locais. Por exemplo, supondo-se um tratamento com 500 nós clientes, o nó cliente 1 foi conectado ao nó roteador 1, o nó cliente 2 foi conectado ao nó roteador 2 e assim sucessivamente até atingir o 27º roteador (conectando-se o nó cliente 27), recomeçando-se a contagem do número de roteadores até atingir o número máximo de nós clientes determinado no respectivo tratamento. Desta forma, todos os sistemas foram submetidos às mesmas condições de distribuição dos nós cliente.

Como resultado dessa estratégia, simulou-se uma rede constituída por 324 roteadores, utilizada na execução de todos os tratamentos do experimento. Com isto, garantiu-se que todos os sistemas avaliados fossem submetidos à mesma topologia de rede e distribuição dos nós clientes.

### 1.2.3 Definição das variáveis e parâmetros dos sistemas estudados

As variáveis foram definidas em 3 categorias: independentes, fatores e dependentes.

#### **Variáveis independentes:**

Na Tabela 1.1, apresentam-se as variáveis independentes utilizadas no experimento, com base na topologia da rede apresentada anteriormente.

#### **Fatores:**

Na Tabela 1.2, apresentam-se os fatores considerados no experimento. Os tratamentos foram determinados pelo produto cartesiano desses fatores.

Tabela 1.1: Tabela das variáveis independentes utilizados no experimento.

Parâmetros	Valores
Dinâmica da rede ( <i>churn</i> ) <sup>1</sup>	RandomChurn
Número de nós roteadores ( <i>backbone</i> )	27
Número de nós roteadores nas redes locais	12
Número total de roteadores	324
Largura de banda das redes locais	100 <i>Mbps</i>
Atraso de propagação das redes locais	1 <i>s</i>
Tempo de simulação de cada ensaio	900 <i>s</i>
Tamanho do buffer circular (roteadores)	40 <i>s</i>
Tamanho máximo do datagrama	1500 <i>Bytes</i> (OverSim) e 4096 <i>Bytes</i> (CCNSim)
Taxa de upload dos nós	512 <i>Kbps</i> , 1 <i>Mbps</i> , 2 <i>Mbps</i> (Heterogênea)
Tipo da mídia <sup>2</sup>	MPEG4 Part I

<sup>1</sup> Para mais detalhes, consultar Seção 1.2.5.<sup>2</sup> Para mais detalhes, consultar Seção 1.2.7.

Tabela 1.2: Tabela dos fatores consideradas no experimento.

Fatores	Valores
Número de nós servidores	1, 3, 5
Número de nós clientes <sup>1</sup>	500; 1.500; 15.000; 30.000; 60.000; 80.000

<sup>1</sup> Todos os clientes solicitaram a mídia nos primeiros 200 *s* de cada ensaio. Mais detalhes na Seção 1.2.5.**Variáveis dependentes:**

As principais métricas para medir um sistema de distribuição de mídias ao vivo podem ser organizadas em três categorias [6, 7], apresentadas a seguir.

1. *Qualidade de serviço à aplicação*: avaliam-se o atraso para iniciar a reprodução da mídia após um cliente requisitá-la ao servidor (ST); o índice de continuidade (IC); e a distorção do conteúdo em comparação ao original (DI). Como ilustra-se na Figura 1.2, a variável ST é o tempo transcorrido entre um nó cliente requisitar a mídia, receber os primeiros pacotes de dados até ser capaz de produzi-los. O valor da variável IC corresponde à razão entre o número de pacotes de dados da mídia entregues ao nó cliente antes do momento de reproduzi-los e o número total de pacotes de dados transmitidos. Por fim, o valor da variável DI corresponde à razão entre o número de quadros com erros e o número total de quadros disponíveis para serem entregues em um certo período. Para efeito de cálculo das variáveis IC e DI, considerou-se apenas o período em que cada nó cliente permaneceu conectado à rede. Por exemplo (Figura 1.2), se um nó cliente 1 se conectou no instante 14 *s*, começou a receber os pacotes de dados



reproduzíveis no instante 19 s ( $ST=4$ ) e foi desconectado no instante 49 s, considerou-se apenas os pacotes de dados entre os instantes 19 s e 48 s para calcular os valores de CI e DI do nó cliente 1. Note que podem ocorrer quadros de vídeo com erro por dois motivos:

- (a) *Atraso de chegada*: o nó recebeu o quadro corretamente, porém não foi possível reproduzi-lo por ter expirado (quadro recebido após o instante de sua correta reprodução);
- (b) *Devido às perdas de dependência*: o nó recebeu o quadro corretamente, porém não foi possível decodificá-lo devido à dependência de outro quadro indisponível.

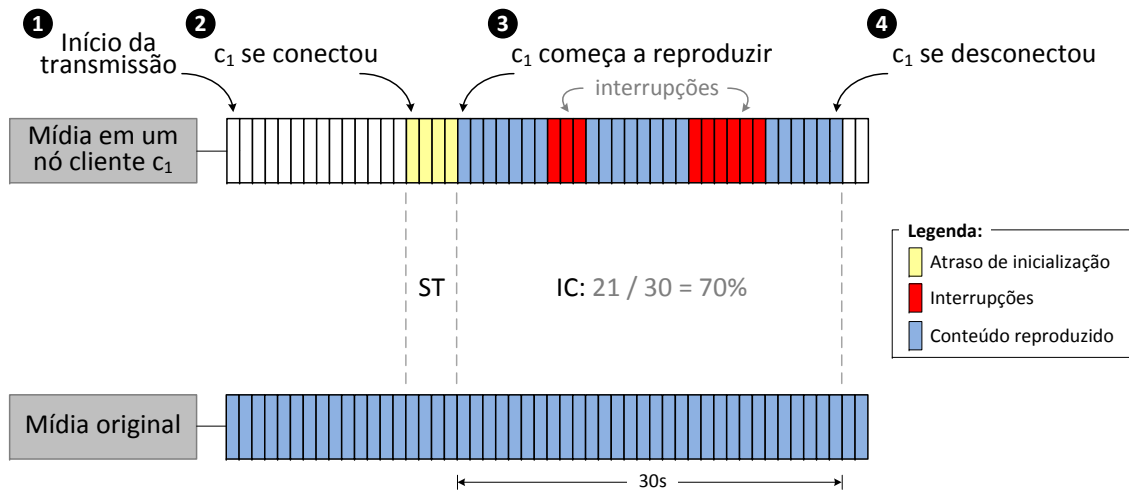


Figura 1.2: Exemplo de cálculo das variáveis dependentes ST, IC. Nesse caso, o valores  $ST = 4$  s e  $IC = 70\%$ .

2. *Escalabilidade do sistema*: avalia-se a quantidade de nós simultâneos que foram capazes de receber o fluxo de dados da mídia transmitida com um nível de distorção máximo (ES). Nesse caso, mediu-se também o nível de contribuição das redes CDN e P2P, que corresponde à quantidade de fluxos transmitidos pelos servidores (QS) da CDN e pelos nós da rede P2P entre si (QP).
3. *Sobrecarga de controle*: avalia-se a quantidade de pacotes de controle (PC) transmitidos por um protocolo durante o tempo de simulação (contagem dos pacotes que não transportam dados da mídia), considerando-se 0,5 cada pacote de *piggyback*.

Com base nessas métricas, determinou-se as variáveis dependentes, apresentadas na Tabela 1.3.

Tabela 1.3: Tabela das variáveis dependentes (respostas) consideradas no experimento.

Variáveis dependentes	Símbolo
Atraso de inicialização do fluxo	ST
Índice de continuidade (%)	IC
Distorção do vídeo (%)	DI
Número de conexões ao servidor	QS
Número de conexões entre clientes	QP
Número de pacotes de controle	PC

### 1.2.4 População e amostras

Constituiu-se a população por dados coletados durante a execução dos ensaios de acordo com às variáveis dependentes apresentadas na Tabela 1.3, com amostras coletadas a cada segundos. Como a duração de cada ensaio foi de 900 s, coletou-se 900 amostras e o valor final de cada variável dependente em cada ensaio foi determinado pela média aritmética das respectivas amostras.

### 1.2.5 Tratamentos

Na Tabela 1.4, apresentam-se os tratamentos considerados no experimento, definidos com base na combinação dos fatores apresentados na Tabela 1.2. Definiu-se como as unidades experimentais o GMTP, o Denacast/CoolStreaming e o CCN-TV, comparados em confrontos dois-a-dois, fixando-se o GMTP, em execuções não simultâneas. Nesse contexto, executaram-se 3792 ensaios distribuídos em 18 tratamentos, 1264 ensaios para cada sistema estudado. Na coluna  $n_t$ , apresenta-se a quantidade de repetições de cada tratamento.

Com relação a execução de cada tratamento, executaram-se 50 ensaios iniciais de cada sistema estudado, obtendo-se assim 50 amostras para cada variável dependente. Em seguida, calculou-se a média dessas amostras e, para realizar comparações com 95 % de certeza, calculou-se a quantidade total de ensaios ( $n_t$ ) de cada tratamento a fim de atingir este nível de confiança. Para isto, calculou-se a quantidade de ensaios necessários para obter 95 % de nível de confiança com base em duas médias (das amostras iniciais)  $\mu_1, \mu_2$  de cada variável

Tabela 1.4: Tabela dos tratamentos executados no experimento.

Tratamento #	Número de nós servidores (conectado(s) a)	Número de nós clientes	$n_t$
1	1 (DE)	500	58
2		1.500	61
3		15.000	56
4		30.000	51
5		60.000	84
6		80.000	51
7	3 (DE, EE, PT)	500	87
8		1.500	79
9		15.000	73
10		30.000	88
11		60.000	95
12		80.000	86
13	5 (DE, EE, PT, NL, HU)	500	77
14		1.500	94
15		15.000	53
16		30.000	56
17		60.000	62
18		80.000	53

dependente, fixando-se  $\mu_1$  como a média das variáveis dependentes do GMTP e  $\mu_2$  a média ou do Denacast/CoolStreaming ou do CCN-TV. Sendo assim, a quantidade total de ensaios de cada tratamento foi determinado por  $n_t = \max(n_{ST}, n_{IC}, n_{DI}, n_{QS}, n_{QP}, n_{PC}) + 1$ , onde os valores  $n_{ST}, n_{IC}, n_{DI}, n_{QS}, n_{QP}, n_{PC}$  foram obtidos através da inequação de proporcionalidade para comparar duas alternativas [8]. Por exemplo, se para o confronto GMTP vs. Denacast/CoolStreaming obteve-se  $n_t = \max(52, 67, 57, 85, \mathbf{93}, 64) + 1$  e no confronto GMTP vs. CCN-TV obteve-se  $n_t = \max(55, 71, 75, 58, 59, 56) + 1$ , considerou-se  $n_t = 94$ . Ou seja, repetiu-se 94 vezes o mesmo tratamento para todos os sistemas estudados. No Apêndice A, Seção A.2, apresentam-se mais detalhes sobre o cálculo de  $n_t$ .

Por fim, antes da execução de todos os ensaios de cada tratamento, executaram-se outras ações importantes:

1. Configurou-se todos os nós clientes para enviar a requisição da mídia a um servidor escolhido específico, escolhido aleatoriamente (distribuição uniforme). Sendo assim, garantiu-se que todos os sistemas avaliados fossem submetidos às mesmas quantidades de requisições ao(s) nó(s) servidor(es).

2. Definiu-se a taxa de *upload* de cada nó cliente com base em uma escolha aleatória entre as seguintes opções: 512 Kbps, 1 Mbps, 2 Mbps (distribuição uniforme). Dessa forma, assegurou-se que os nós clientes foram submetidos as mesmas capacidades de transmissão, independente do sistema avaliado.
3. Todos os nós clientes requisitaram a mídia nos primeiros 200 s. Para definir o instante de cada requisição do cliente definiu-se o seguinte: gerou-se uma quantidade de números inteiros entre 0 – 200 igual à quantidade de nós clientes determinado para um certo tratamento. Por exemplo, no Tratamento 1 foram sorteados 500 números inteiros aleatórios entre 0 – 200 e somou-se o número de ocorrências de cada número sorteado. Durante a execução dos ensaios, adicionou-se à rede a quantidade de nós correspondente ao número de ocorrências em cada instante da simulação. Por exemplo, se o número 199 foi sorteado 10 vezes, no instante 199 da simulação foram adicionados 10 nós clientes que imediatamente requisitaram a mídia ao servidor. Dessa forma, garantiu-se que os sistemas foram submetidos às mesmas condições iniciais de conexão entre os nós clientes e os nós servidores.
4. A função de *churn* foi acionada no instante 400 s. A estratégia foi a seguinte: a cada intervalo de 5 s, um número  $x \in [0, 1]$  foi gerado. Dependendo do valor de  $x$ , 10 % dos nós clientes foram mantidos ou removidos com uma probabilidade de 0.7. Ou seja, os nós foram mantidos conectados à rede com uma probabilidade de 70 % e removidos com uma probabilidade de 30 %. Com isto, garantiu-se que todas os sistemas avaliados fossem submetidos às mesmas condições de dinâmica da rede.

### 1.2.6 Instrumentação

Com relação à instrumentação, utilizou-se OMNet++ [9, 10], um arcabouço para construção de simuladores de rede. Nesse contexto, utilizaram-se dois simuladores: o OverSim [11] e o CCN-Sim [12]. No OverSim, utilizaram-se as implementações do sistema Denacast/CoolStreaming [13] e a do GMTP [14] (implementado no contexto deste trabalho), ao passo que no CCN-Sim, utilizou-se a implementação do CCN-TV [15].

### 1.2.7 Formato da mídia

Na Tabela 1.5, apresentam-se as propriedades da mídia utilizada no experimento [16] e na Figura 1.3 ilustra-se um gráfico da taxa de bits variáveis dos primeiros 200s da referida mídia.

Tabela 1.5: Tabela das propriedades da mídia transmitida.

Propriedades	Valores
Mídia sintetizada	<i>Star Wars IV</i>
Codec do vídeo	MPEG4 Part I
Número de quadros	25 <i>fps</i>
Número de quadros em GoP	12
Média VBR	512 <i>Kbps</i>

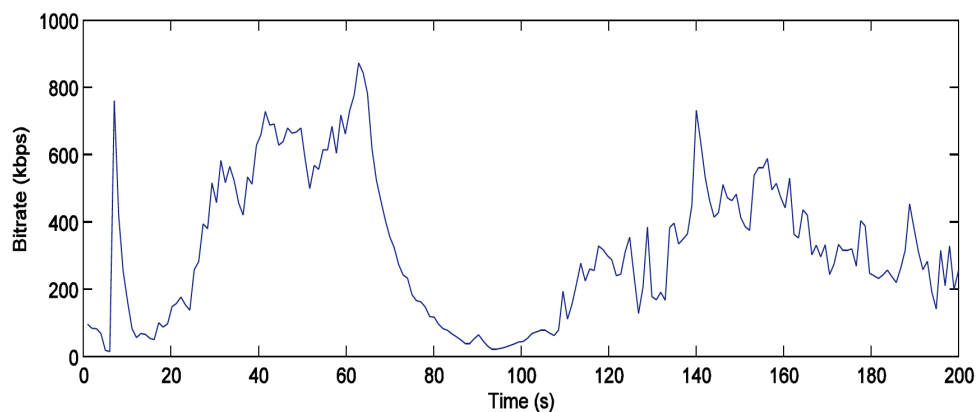


Figura 1.3: Taxa de bits variáveis dos primeiros 200s da mídia utilizada no experimento (*Star Wars IV*).

Com base na metodologia apresentada nesta seção, coletaram-se as amostras para as variáveis dependentes e realizou-se uma análise dos dados a fim de provar a hipótese enunciada na Seção 1.2.1.

## 1.3 Resultados e Discussões

Nesta seção, apresentam-se os resultados e discussões dos confrontos GMTP vs. Denacast/-CoolStreaming e GMTP vs. CCN-TV. Apresentam-se os resultados de acordo as categorias das métricas apresentadas na Seção 1.2.3: qualidade de serviço à aplicação, escalabilidade do sistema e sobrecarga de controle.

### 1.3.1 Qualidade de serviço à aplicação

Nessa categoria, estudou-se o comportamento dos sistemas com vistas à três métricas: atraso de inicialização, índice de continuidade e nível de distorção da mídia recebida por cada nó cliente. A seguir, analise-se essas métricas a respeito dos sistemas estudados.

#### Atraso de inicialização:

Na Figura 1.4, ilustra-se o gráfico da métrica *Atraso de Inicialização (s)* para cada tratamento definido na Seção 1.2.5, observando-se a evolução dos sistemas Denacast/CoolStreaming, CCN-TV e GMTP. Nesse contexto, observa-se um desempenho satisfatório do GMTP frente aos outros sistemas estudados, com uma ressalva. Houve empate técnico entre os três sistemas nos tratamentos com 500 nós clientes, constatando-se a mesma situação entre o Denacast/CoolStreaming e CCN-TV no tratamento 14, quando se considerou 5 nós servidores e 1.500 nós clientes.

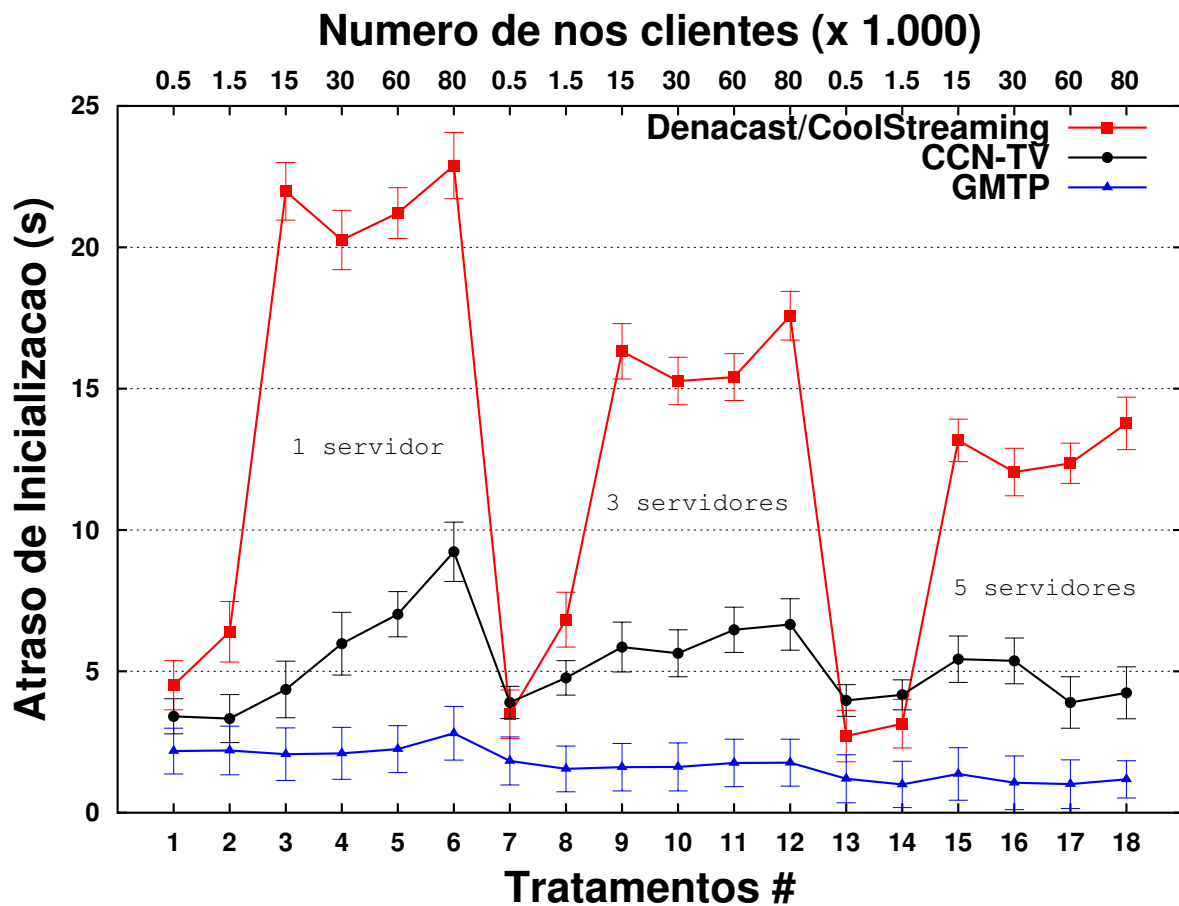


Figura 1.4: Resultado dos tratamentos (1 – 18) para a métrica *Atraso de Inicialização*.

No caso do GMTP, observa-se uma tendência de linearidade com relação ao atraso de inicialização em todos os experimentos, com aumentos suaves à medida em que se aumentou o número de nós clientes nos tratamentos com apenas 1 nó cliente (tratamentos 1 – 6). Na evolução do CCN-TV, observou-se um desempenho melhor se comparado ao Denacast/CoolStreaming, ao passo que se observou um empate técnico entre o GMTP e o CCN-TV no tratamento 2. Observa-se que a linha de evolução do Denacast/CoolStreaming tem uma tendência de aumento, apesar de uma leve melhora quando se aumentou de 15.000 para 30.000 e o número de nós servidores. Esta melhora se explica pelo aumento significativo (o dobrou) do número de nós disponíveis, aumentando-se as chances da formação de boas parcerias. Porém, aumentando-se dobrando-se novamente o número de nós clientes (de 30.000 para 60.000) não se observa melhorias no atraso de inicialização. Isto indica limitação de escala, pois aumenta-se a quantidade de tráfego de dados e de controle devido ao aumento do número de fluxos de dados, aumentando-se as filas de roteamento e consequentemente o atraso de processamento dos pacotes de dados.

No caso da linha do CCN-TV, observa-se uma tendência de redução, à medida em que se aumenta o número de nós servidores e o número de nós clientes. Este comportamento é mais esperado em uma solução para distribuição de mídias em larga escala. Isto ocorre devido ao aumento do número de nós clientes requisitando a mesma mídia, aumentando-se as chances de outros nós clientes obterem as partes da mídia a partir de um *cache* de roteador e não diretamente do servidor. Esse é o mesmo caso do GMTP, mas observa-se uma menor variação do atraso de inicialização porque se transmite toda requisição ao nó servidor, então se garante a obtenção dos primeiros pacotes de dados mais rapidamente, ao custo de os primeiros nós clientes sofrerem um maior atraso de inicialização. No caso do CCN-TV, como discutido na Seção ??, utiliza-se uma tabela de repasse chamada de FIB, onde os conteúdos são catalogados pelo seu nome. Nas redes ICN, classificação mais ampla para as redes CCN/NDN, aboliu-se o conceito de comunicação fim-a-fim, sequer utiliza-se o esquema de endereçamento IP. Isto pode gerar um conflito sobre até quando um pacote de interesse circulará na rede até encontrar um roteador que possua o pacote de dados correspondente [5]. No caso do GMTP, uma requisição de um nó cliente para obter um fluxo de dados ao vivo continua sendo transmitida em direção ao servidor de origem, como atualmente ocorre na Internet. Se nenhum roteador interceptar o pedido, todos os passos tradicionais de uma

conexão fim-a-fim ocorrem. A diferença é que se qualquer roteador presente na rota entre o nó cliente e o nó servidor já estiver repassando o pacote de dados por aquele caminho ou por outra *interface*, este roteador interceptará a requisição do cliente e responderá a este como se fosse o nó servidor original, o que evita duplicação de fluxo de dados e reduz o atraso de inicialização.

Índice de continuidade x Tratamento

Distorção da mídia x Tratamento

\* depois de mudar as médias, validar os intervalos de confiança na hora que for fazer o algoritmo para gerar as linhas da tabela do latex

- O GMTP teve o menor atraso de inicialização se comparado aos sistemas CoolStreaming e Denacast

- A estratégia de realizar cache nos roteadores apresenta um ganho significativo se comparado com soluções baseadas apenas nos sistemas finais, como é o caso do CoolStreaming

- No caso do CoolStreaming, observa-se que o atraso de inicialização está relacionado com a quantidade de nós servidores e de nós clientes. Ou seja, quanto mais nós clientes interessados na mídia, tende-se a um aumento significativo do atraso de inicialização. Apesar disso, observa-se uma suave redução do tempo de inicialização à medida que se adicionam mais nós servidores. Já no caso do GMTP e do CCN-TV, observa-se que não há um impacto negativo no desempenho de ambos, no ponto de vista do atraso de inicialização, com uma ligeira vantagens do GMTP à medida que a disponibilidade de nós servidores aumenta e cresce a quantidade de nós interessados pela mídia.

- Sobre o índice de continuidade dizer que se confirmou o que foi dito em [4] (Tratamento 5 e 6): O conceito de sub-fluxo adiciona complexidade à solução sem necessariamente resultar em melhor desempenho. Em [4], os autores do CoolStreaming discutem que aumentar a quantidade de número de sub-fluxos não melhora proporcionalmente algumas métricas, como o índice de continuidade e utilização da capacidade de *upload* dos nós transmissores (em média). Os autores executaram simulações com 40 mil nós e 24 servidores auxiliares (que funcionaram apenas como nós transmissores) e observaram que a partir de 8 sub-fluxos, as duas métricas citadas anteriormente não evoluem positivamente, piorando em alguns casos (quando se utiliza nós com capacidade heterogêneas de transmissão). CoolStreaming reduz o índice de continuidade devido ao churn



Um nó recém integrado à rede DONet pode levar muito tempo (em alguns casos 20 segundos) para obter os primeiros blocos de vídeo e assim iniciar a reprodução do conteúdo ao usuário final. Isto porque, ao se juntar à rede, um nó solicita o mapa de *buffer* a um conjunto de nós parceiros informados por um servidor de *bootstrap*. Porém, o desafio é definir a partir de qual ponto do *buffer* um nó deve começar a solicitar os blocos de vídeo. Por exemplo, se o novo nó requisitar um bloco de vídeo muito antigo, pode ser que tal bloco de vídeo não esteja mais disponível, já que o nó cliente o remove após sua reprodução. Por outro lado, se o nó requisitar um bloco de vídeo muito recente, pode ser que nenhum de seus nós parceiros tenha disponível. No GMTP, situações como essas não ocorrem porque se utiliza, por padrão o método *push*, além do mais, as últimas partes da mídia já podem estar disponíveis no roteador, quando há outros clientes anteriores recebendo o fluxo de dados correspondente.

- O CoolStreaming leva em consideração apenas o nó que detém um determinado conteúdo de interesse e sua capacidade de upload. A estratégia de escolha aleatória de nós parceiros é limitante a uma certa quantidade de nós cliente, após isso observa-se muitas requisições aos nós servidores.

LER ISSO E VER O QUE APROVEITAR No caso do CoolStreaming há uma redução no atraso de inicialização apenas quando se aumenta o número de nós servidores, ao passo que para o GMTP e para o CCN-TV a quantidade de nós servidores não fez muita diferença. Apesar disso, observa-se que o GMTP teve um desempenho ligeiramente melhor e isto pode ser explicado pelo mecanismo de seleção de nós (Fase 3), que considera a capacidade de transmissão dos canais conhecidos para escalonar a fim de escalonar os melhores nós parceiros.

=====

Influência no atraso de inicialização: número de nós, que aumenta o tráfego de controle, mas observa-se que o à medida em que se aumenta o número de servidores, há uma tendência de queda no atraso de inicialização. O problema é o impacto disso no número de conexões ao servidor. O Denacast/CoolStreaming sofre mais por isso porque nesse sistema não se mantém controle sobre quando desconectar do servidor e sugerir ao nó que troque dados com outro. Uma vez conectado no servidor, o nó permanece conectado, podendo repassar a outros nós parceiros. No caso do GMTP, um nó servidor apenas aceita uma conexão

caso não exista nenhum nó no caminho até o servidor já recebendo o fluxo de dados. Ou seja, o GMTP observa o estado de conexão através de uma rota de rede. Nas requisições subsequentes originadas através de pelo menos parte do caminho, o nó servidor é notificado sobre tal requisição, mas instruirá o roteador intermediário (aquele que já está recebendo o fluxo de dados) a repassar o conteúdo também para o novo nó.

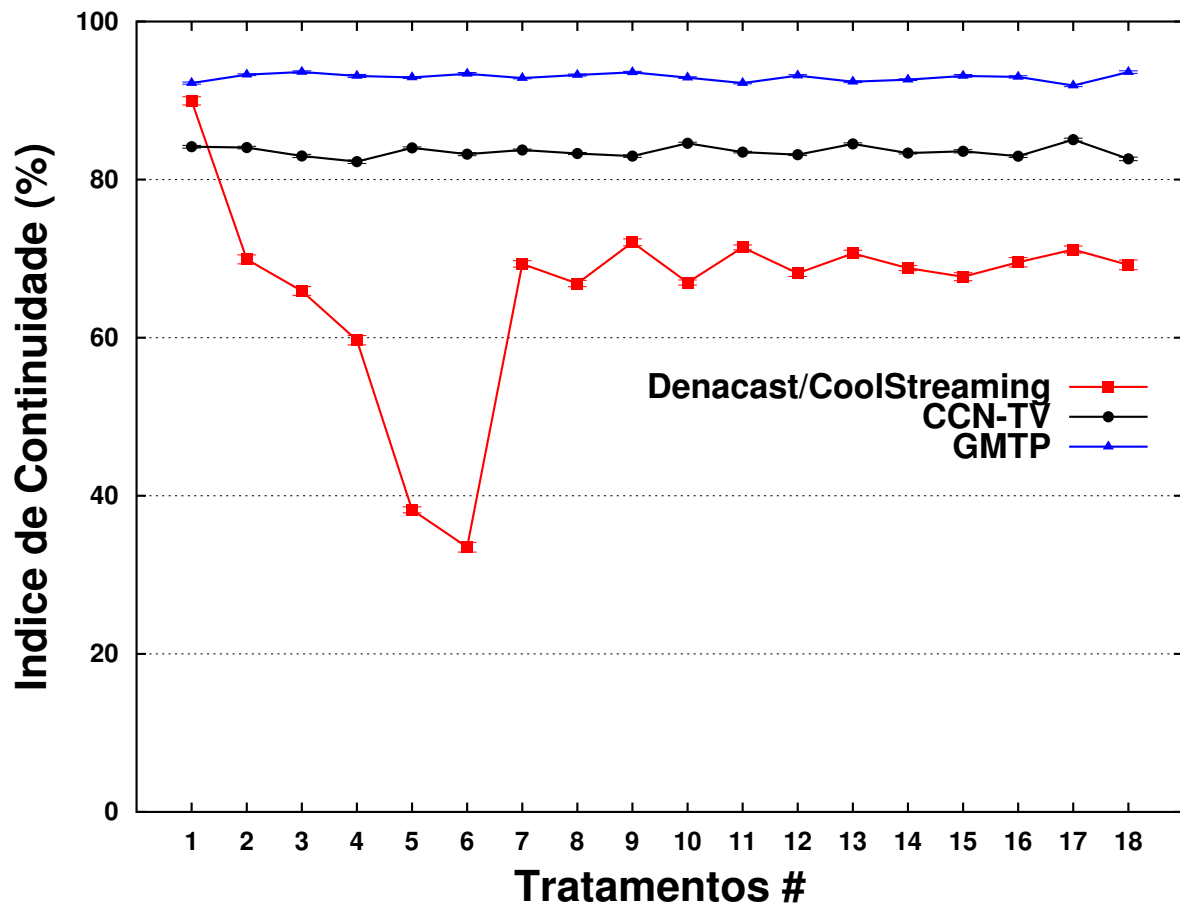


Figura 1.5: Resultado dos tratamentos (1 – 18) para a métrica *Índice de Continuidade*.

### 1.3.2 Escalabilidade dos sistemas

Conexões ao servidor x Conexões entre clientes

### 1.3.3 Sobrecarga de controle

Pacotes de Controle x Número de nós clientes

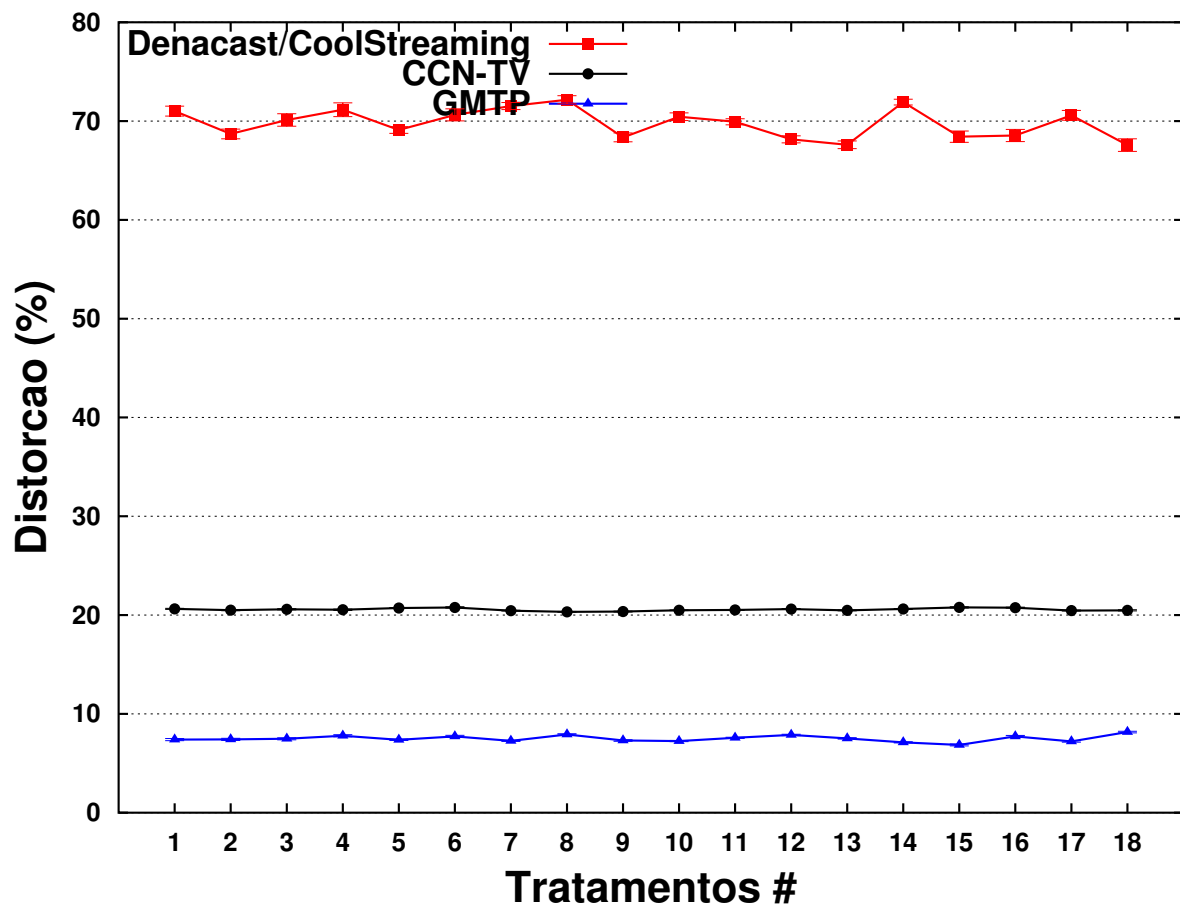


Figura 1.6: Resultado dos tratamentos (1 – 18) para a métrica *Distorção*.

### 1.3.4 Sumarização dos resultados

Pensar num gráfico que relacione a média geométrica de todos as variáveis dependentes com os fatores. Em um contexto geral, comparando em um único número para cada protocolo, fazer um gráfico de barras, usar média geométrica, ou seja:

Dizer que o GMTP tem um melhor desempenho porque a seleção de nós considera a capacidade do canal

COMENTAR O QUE NEGARIA A MINHA TESE, TANTO NO CONTEXTO DE UM SISTEMA (EX. DENACAST) QUANTO NO CONTEXTO DE INFRA (EX. CCN)

## 1.4 Sumário do Capítulo

A interoperabilidade é uma medição arquitetural, explicar isso. Como medir a quantidade de aplicações de distribuição de mídias ao vivo diferentes e a quantidade de eventos iguais

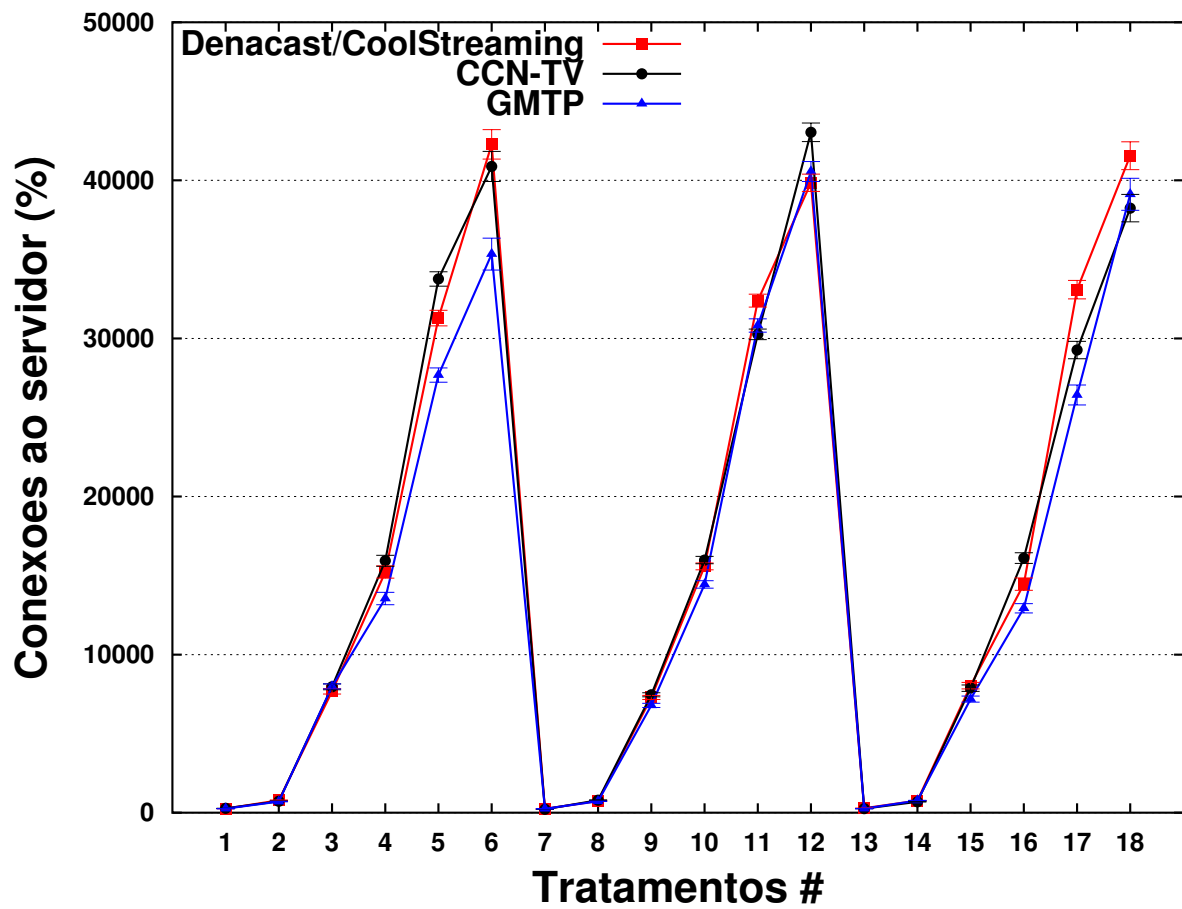


Figura 1.7: Resultado dos tratamentos (1 – 18) para a métrica *Número de Conexões ao Servidor*.

sendo transmitidos

Sendo assim, o que resta para a aplicação? replicar conteúdo nos servidores da cdn e estratégias para acessa-los (load balancing etc)

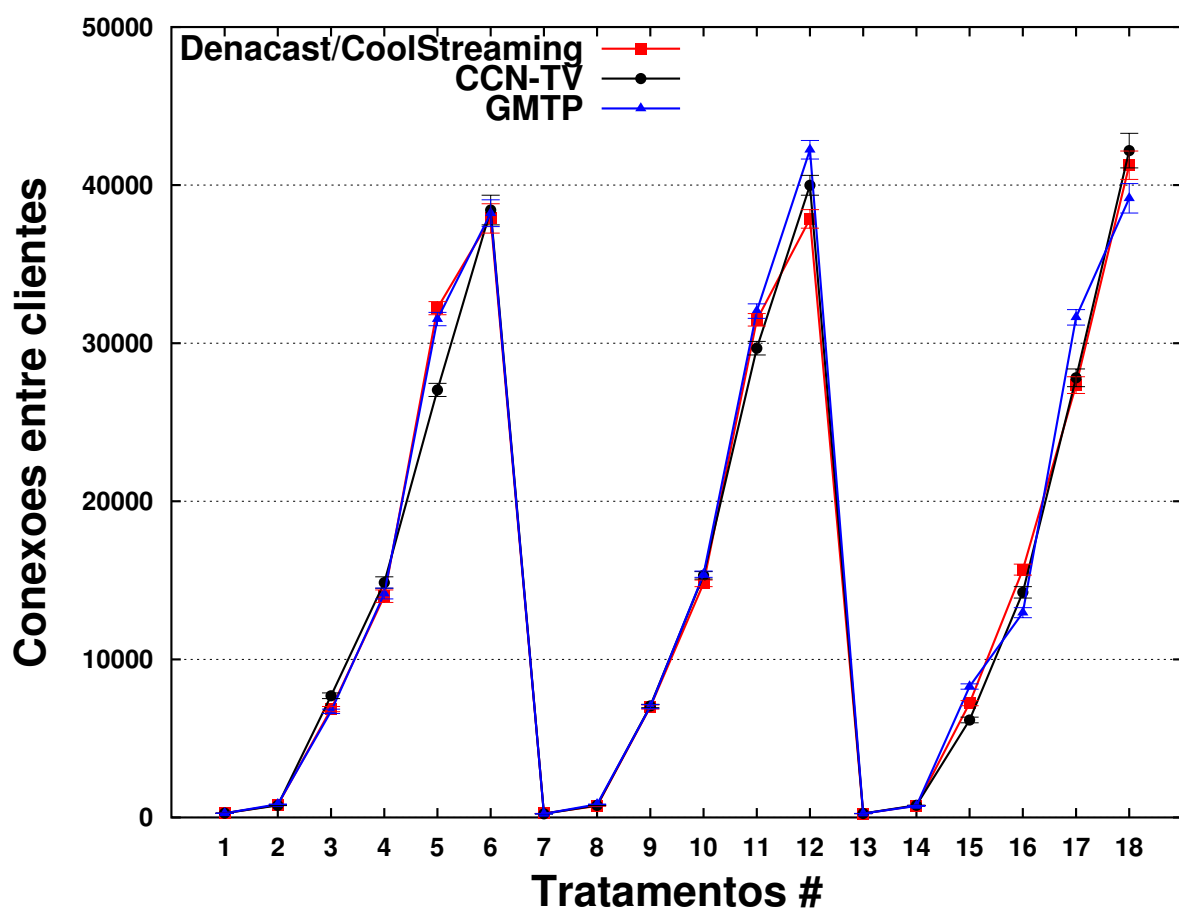


Figura 1.8: Resultado dos tratamentos (1 – 18) para a métrica *Número de Conexões entre Clientes*.

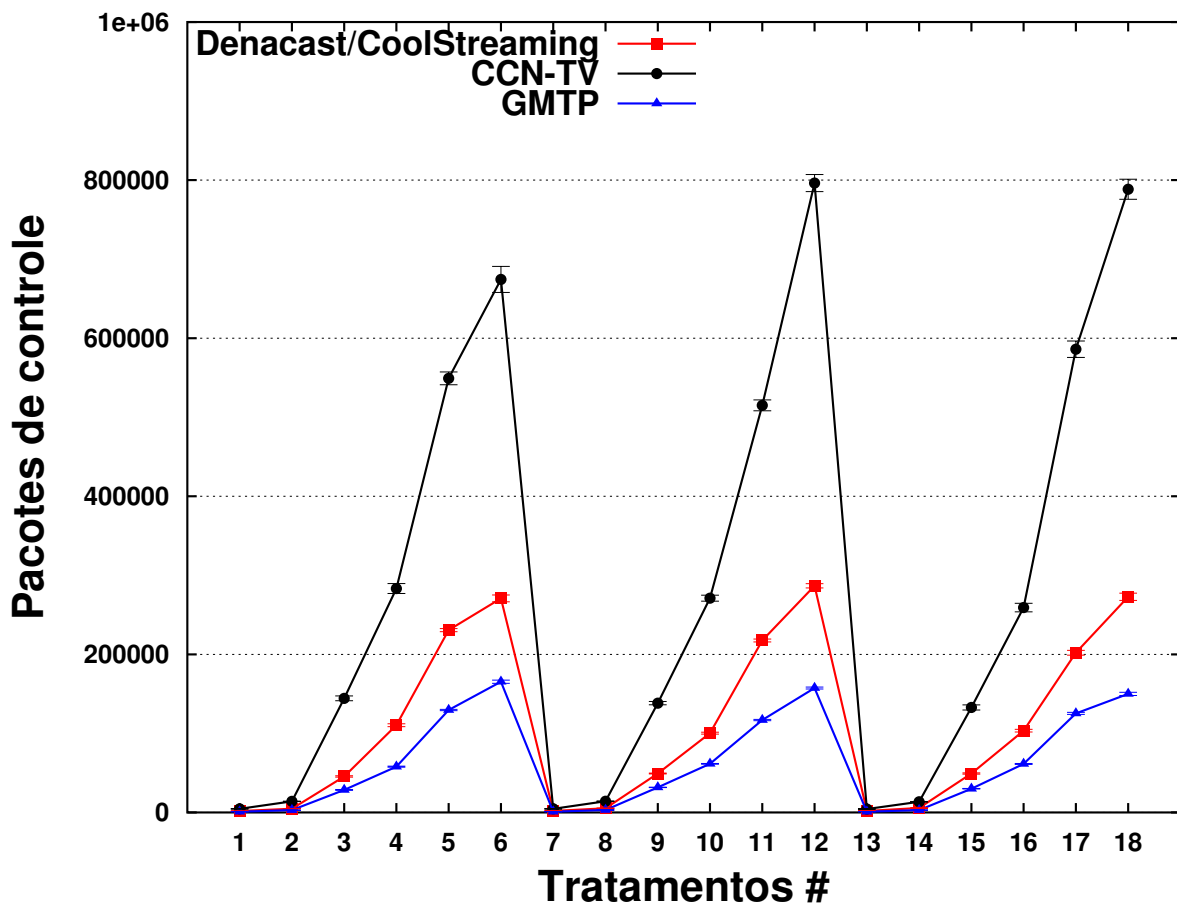


Figura 1.9: Resultado dos tratamentos (1 – 18) para a métrica *Número de Pacotes de Controle*.

# Bibliografia

- [1] Anahita Fellah Jahromi. Temporal Scalable Live Video Streaming over Hybrid CDN-P2P Architecture. *International Journal of Computer Applications*, 46(17):14–20, May 2012. Published by Foundation of Computer Science, New York, USA.
- [2] S. M Y Seyyedi and B. Akbari. Hybrid cdn-p2p architectures for live video streaming: Comparative study of connected and unconnected meshes. In *Computer Networks and Distributed Systems (CNDS), 2011 International Symposium on*, pages 175–180, Feb 2011.
- [3] V. Ciancaglini, G. Piro, R. Loti, L.A. Grieco, and L. Liquori. CCN-TV: A Data-centric Approach to Real-Time Video Services. In *Advanced Information Networking and Applications Workshops (WAINA), 2013 27th International Conference on*, pages 982–989, March 2013.
- [4] Bo Li, Susu Xie, Yang Qu, G.Y. Keung, Chuang Lin, Jiangchuan Liu, and Xinyan Zhang. Inside the New Coolstreaming: Principles, Measurements and Performance Implications. In *INFOCOM 2008. The 27th Conference on Computer Communications. IEEE*, pages –, 4 2008.
- [5] C. Tsilopoulos, G. Xylomenos, and G.C. Polyzos. Are information-centric networks video-ready? In *Packet Video Workshop (PV), 2013 20th International*, pages 1–8, Dec 2013.
- [6] Z. Chen, H. Yin, C. Lin, Y. Chen, and M. Feng. Towards a Universal Friendly Peer-to-Peer Media Streaming: Metrics, Analysis and Explorations. *Communications, IET*, 3(12):1919–1933, 12 2009.

- [7] Xiaojun Hei, Yong Liu, and K.W. Ross. Inferring Network-Wide Quality in P2P Live Streaming Systems. *Selected Areas in Communications, IEEE Journal on*, 25(9):1640–1654, December 2007.
- [8] Raj Jan. *The Art of Computer Systems Performance Analysis: Techniques for Experimental Design, Measurement, Simulation, and Modeling*. John Wiley & Sons, Inc, 1 edition, 3 1991.
- [9] He Xu, Suo ping Wang, Ru chuan Wang, and Ping Tan. A Survey of Peer-to-Peer Simulators and Simulation Technology. *Journal of Convergence Information Technology*, 6(5):260–272, 5 2011.
- [10] Andras Varga. OMNeT++: Extensible, Modular, Component-based C++ Simulation Library and Framework for Building Network Simulators, 3 2014. <http://www.omnetpp.org/>. Último acesso: 3 de Abril de 2014.
- [11] Stephan Krause Ingmar Baumgart, Bernhard Heep. OverSim: the Overlay Simulation Framework, 3 2014. <http://www.oversim.org/>. Último acesso: 3 de Abril de 2014.
- [12] Giuseppe Rossini, Raffele Chiocchetti, Andrea Araldo, and Dario Rossi. CCN-Sim: Scalable Chunk-level Simulator of Content Centric Networks (CCN), 3 2014. <http://perso.telecom-paristech.fr/~drossi/index.php?n=Software.CcnSim>. Último acesso: 3 de Abril de 2014.
- [13] S. M Y Seyyedi and B. Akbari. Denacast: A P2P/CDN Video Streaming System in OverSim, 3 2014. <http://www.denacast.org/>. Último acesso: 3 de Abril de 2014.
- [14] Leandro Melo de Sales. Global Media Transmission Protocol (GMTP), 3 2014. <http://www.gmtp-protocol.org/>. Último acesso: 3 de Abril de 2014.
- [15] Vincenzo Ciancaglini, Giuseppe Piro, Riccardo Loti, Luigi Alfredo Grieco, and Luigi Liquori. CCN-TV: Data-Centric Approach to Real-Time Video Services, 3 2014. <http://telematics.poliba.it/index.php/en/ccn-tv>. Último acesso: 3 de Abril de 2014.



- 
- [16] F. H P Fitzek and M. Reisslein. MPEG-4 and H.263 Video Traces for Network Performance Evaluation. *Network, IEEE*, 15(6):40–54, 11 2001.

# Apêndice A

## Detalhes dos Experimentos

Neste apêndice, apresentam-se alguns detalhes relacionados aos experimentos realizados.

### A.1 Largura de Banda e Atraso de Propagação Utilizados na Rede Simulada

Tabela A.1: Largura de banda e atraso de propagação utilizados na rede simulada.

#	Roteador 1	Roteador 2	Largura de Banda	Atraso de Propagação
1	DE	SE	10 <i>Gbps</i>	6.34 <i>ms</i>
2	DE	CZ	10 <i>Gbps</i>	2.10 <i>ms</i>
3	DE	FR	10 <i>Gbps</i>	11.39 <i>ms</i>
4	DE	IT	10 <i>Gbps</i>	11.93 <i>ms</i>
5	DE	NL	2.5 <i>Gbps</i>	5.23 <i>ms</i>
6	DE	AT	2.5 <i>Gbps</i>	4.71 <i>ms</i>
7	DE	GR	622 <i>Mbps</i>	21.69 <i>ms</i>
8	DE	IE	155 <i>Mbps</i>	13.69 <i>ms</i>
9	SE	UK	10 <i>Gbps</i>	14.59 <i>ms</i>
10	SE	EE	155 <i>Mbps</i>	8.78 <i>ms</i>
11	SE	LV	34 <i>Mbps</i>	9.71 <i>ms</i>
12	SE	LT	45 <i>Mbps</i>	10.78 <i>ms</i>
Continuação na próxima página				

Tabela A.1 – continuação da página anterior

#	Roteador 1	Roteador 2	Largura de Banda	Atraso de Propagação
13	SE	PL	2.5 Gbps	6.49 ms
14	UK	FR	10 Gbps	5.51 ms
15	UK	NL	2.5 Gbps	1.29 ms
16	UK	IE	155 Mbps	3.97 ms
17	UK	IL	45 Mbps	36.09 ms
18	UK	GR	155 Mbps	31.25 ms
19	FR	CH	10 Gbps	3.84 ms
20	FR	BE	2.5 Gbps	4.56 ms
21	FR	LU	155 Mbps	3.34 ms
22	CH	AT	10 Gbps	4.01 ms
23	CH	IT	10 Gbps	2.14 ms
24	IT	ES	2.5 Gbps	7.54 ms
25	NL	BE	2.5 Gbps	1.18 ms
26	BE	LU	155 Mbps	1.16 ms
27	PL	CZ	2.5 Gbps	3.64 ms
28	CZ	SK	2.5 Gbps	2.21 ms
29	SK	HU	2.5 Gbps	2.13 ms
30	AT	HU	2.5 Gbps	3.68 ms
31	AT	HR	34 Mbps	3.88 ms
32	AT	SI	633 Mbps	1.18 ms
33	HU	SI	155 Mbps	2.18 ms
34	HU	RO	34 Mbps	2.18 ms
35	ES	PT	622 Mbps	2.57 ms
36	CY	GR	34 Mbps	2.57 ms
37	BG	GR	34 Mbps	2.57 ms

## A.2 Quantidade de Ensaios

No experimento realizado para comparar o GMTP com o Denacast/CoolStreaming e o CCN-TV, apresentado no Capítulo 1, fez-se necessário determinar a quantidade de repetição de um tratamento para que fosse possível comparar, com 95 % de certeza, os valores obtidos para

as variáveis dependentes nos confrontos estabelecidos. Para isto, cada valor de  $n$  que representou uma variável dependente (por exemplo,  $n_{ST}$ ) foi calculado através da Inequação A.1, onde  $\mu_1$  correspondeu à média obtida para uma variável dependente através da execução do GMTP e,  $\mu_2$ , a média obtida para a mesma variável dependente através da execução do outro sistema confrontado.

$$\mu_1 \pm 1.96\sqrt{\frac{0,995\mu_1}{n}} \leq \mu_2 \pm 1.96\sqrt{\frac{0,995\mu_2}{n}} \quad (\text{A.1})$$

### A.3 Resultados Compilados

Na Tabela A.2, apresentam-se os resultados do confronto GMTP vs. Denacast/CoolStreaming e na Tabela A.3 os resultados do confronto GMTP vs. CCN-TV.

Tabela A.2: Sumário dos valores obtidos para as variáveis dependentes em cada tratamento do confronto GMTP vs. Denacast/CoolStreaming.

Trat. #	Atraso de inicialização (s)	Índice de continuidade (%)	Distorção do vídeo (%)	Conexões ao servidor	Conexões entre clientes	Pacotes de controle
GMTP 1 Denacast	2.18 (1.87 – 2.49)	92.21 (92.07 – 92.35)	7.40 (7.29 – 7.51)	253.86 (248.99 – 258.73)	270.32 (265.66 – 4.66)	995.43 (984.13 – 1006.73)
	5.51 (4.64 – 6.38)	89.96 (89.44 – 90.48)	71.01 (70.51 – 71.51)	254.48 (248.42 – 260.54)	268.41 (263.77 – 4.64)	1783.20 (1752.46 – 1813.94)
GMTP 2 Denacast	2.20 (1.94 – 2.46)	93.27 (93.15 – 93.39)	7.42 (7.31 – 7.53)	704.79 (686.92 – 722.66)	850.29 (833.76 – 16.53)	2933.60 (2901.79 – 2965.41)
	12.40 (11.33 – 13.47)	69.91 (69.34 – 70.48)	68.70 (68.21 – 69.19)	786.15 (771.15 – 801.15)	807.47 (793.01 – 14.46)	4727.92 (4657.82 – 4798.02)
GMTP 3 Denacast	2.07 (1.74 – 2.40)	93.61 (93.46 – 93.76)	7.48 (7.38 – 7.58)	7985.91 (7827.17 – 8144.65)	6852.93 (6713.47 – 139.46)	28501.28 (28142.15 – 28860.41)
	21.98 (20.96 – 23.00)	65.91 (65.36 – 66.46)	70.11 (69.48 – 70.74)	7673.21 (7503.11 – 7843.31)	7019.42 (6854.21 – 165.21)	45553.58 (44676.17 – 46430.99)
GMTP 4 Denacast	2.10 (1.78 – 2.42)	93.12 (92.93 – 93.31)	7.79 (7.68 – 7.90)	13547.69 (13154.90 – 13940.48)	14507.32 (14164.85 – 342.47)	57945.70 (57236.01 – 58655.39)
	23.26 (22.21 – 24.31)	59.68 (59.09 – 60.27)	71.15 (70.45 – 71.85)	15225.04 (14835.70 – 15614.38)	14393.30 (13997.56 – 395.74)	110374.53 (108605.37 – 112143.69)
GMTP 5	2.25 (2.02 – 2.48)	92.92 (92.81 – 93.03)	7.38 (7.31 – 7.45)	27685.82 (27234.11 – 28137.53)	31946.67 (31525.98 – 420.69)	129665.79 (128857.79 – 130473.79)

Continuação na próxima página

Trat. #	Atraso de inicialização (s)	Índice de continuidade (%)	Distorção do vídeo (%)	Conexões ao servidor	Conexões entre clientes	Pacotes de controle
<b>Denacast</b>	31.21 (30.31 – 32.11)	38.22 (37.84 – 38.60)	69.10 (68.76 – 69.44)	31287.32 (30793.04 – 31781.60)	32631.21 (32217.63 – 413.58)	230712.40 (228746.89 – 232677.91)
<b>GMTP 6</b>	2.31 (1.96 – 2.66)	93.38 (93.22 – 93.54)	7.72 (7.61 – 7.83)	35336.48 (34326.85 – 36346.11)	39068.04 (38221.11 – 846.93)	165415.93 (163357.60 – 167474.26)
<b>Denacast</b>	29.89 (28.72 – 31.06)	33.49 (32.88 – 34.10)	70.63 (70.02 – 71.24)	42280.45 (41348.64 – 43212.26)	38820.41 (37894.26 – 926.15)	270844.47 (266531.30 – 275157.64)
<b>GMTP 7</b>	2.33 (2.08 – 2.58)	92.84 (92.75 – 92.93)	7.27 (7.21 – 7.33)	247.30 (243.77 – 250.83)	236.43 (232.56 – 3.87)	976.31 (969.03 – 983.59)
<b>Denacast</b>	9.48 (8.62 – 10.34)	69.33 (68.92 – 69.74)	71.52 (71.16 – 71.88)	245.71 (242.39 – 249.03)	257.29 (253.81 – 3.48)	1870.31 (1849.28 – 1891.34)
<b>GMTP 8</b>	2.05 (1.84 – 2.26)	93.23 (93.10 – 93.36)	7.92 (7.85 – 7.99)	723.28 (710.47 – 736.09)	842.30 (831.25 – 11.05)	3086.69 (3062.69 – 3110.69)
<b>Denacast</b>	14.83 (13.86 – 15.80)	66.85 (66.45 – 67.25)	72.16 (71.75 – 72.57)	739.47 (727.74 – 751.20)	743.30 (731.37 – 11.93)	5304.01 (5246.36 – 5361.66)
<b>GMTP 9</b>	2.11 (1.87 – 2.35)	93.57 (93.45 – 93.69)	7.31 (7.23 – 7.39)	6787.59 (6658.32 – 6916.86)	7144.44 (7013.74 – 130.70)	31688.33 (31438.66 – 31938.00)
<b>Denacast</b>	24.32 (23.34 – 25.30)	72.07 (71.64 – 72.50)	68.35 (67.90 – 68.80)	7293.19 (7165.46 – 7420.92)	7124.74 (6991.05 – 133.69)	49290.56 (48707.40 – 49873.72)
<b>GMTP 10</b>	2.12 (1.87 – 2.37)	92.90 (92.80 – 93.00)	7.25 (7.19 – 7.31)	14438.04 (14201.09 – 14674.99)	15586.35 (15386.48 – 199.87)	61527.51 (61058.00 – 61997.02)
Continuação na próxima página						

Continuação na próxima página



Tabela A.2 – continuação da página anterior

Trat. #	Atraso de inicialização (s)	Índice de continuidade (%)	Distorção do vídeo (%)	Conexões ao servidor	Conexões entre clientes	Pacotes de controle
<b>Denacast</b>	20.17 (19.02 – 21.32)	67.71 (67.20 – 68.22)	68.42 (67.85 – 68.99)	8037.25 (7831.88 – 8242.62)	7391.73 (7228.45 – 163.28)	49257.29 (48410.32 – 50104.26)
<b>GMTP 16</b>	2.06 (1.71 – 2.41)	92.99 (92.84 – 93.14)	7.72 (7.62 – 7.82)	12930.90 (12639.34 – 13222.46)	13267.89 (12953.61 – 314.28)	61390.66 (60777.47 – 62003.85)
<b>Denacast</b>	17.05 (15.81 – 18.29)	69.54 (68.95 – 70.13)	68.54 (67.92 – 69.16)	14457.17 (14065.68 – 14848.66)	16023.44 (15676.50 – 346.94)	103460.84 (101813.30 – 105108.38)
<b>GMTP 17</b>	2.08 (1.82 – 2.34)	91.90 (91.76 – 92.04)	7.22 (7.14 – 7.30)	26423.28 (25790.10 – 27056.46)	32127.69 (31638.21 – 489.48)	125339.24 (124097.93 – 126580.55)
<b>Denacast</b>	20.36 (19.25 – 21.47)	71.15 (70.71 – 71.59)	70.58 (70.08 – 71.08)	33088.14 (32503.24 – 33673.04)	27876.04 (27345.97 – 530.07)	202064.30 (199066.55 – 205062.05)
<b>GMTP 18</b>	2.18 (1.82 – 2.54)	93.60 (93.44 – 93.76)	8.16 (8.08 – 8.24)	39118.66 (38107.34 – 40129.98)	40094.59 (39163.91 – 930.68)	149991.96 (148027.77 – 151956.15)
<b>Denacast</b>	18.77 (17.44 – 20.10)	69.21 (68.60 – 69.82)	67.57 (66.93 – 68.21)	41559.36 (40677.76 – 42440.96)	42153.75 (41255.81 – 897.94)	272874.40 (268310.63 – 277438.17)



Tabela A.3: Sumário dos valores obtidos para as variáveis dependentes  
em cada tratamento do confronto GMTP vs. CCN-TV.

Trat. #	Atraso de inicialização (s)	Índice de continuidade (%)	Distorção do vídeo (%)	Conexões ao servidor	Conexões entre clientes	Pacotes de controle
<b>GMTP 1 CCN-TV</b>	2.18 (1.87 – 2.49)	92.21 (92.07 – 92.35)	7.40 (7.29 – 7.51)	253.86 (248.99 – 258.73)	270.32 (265.66 – 4.66)	995.43 (984.13 – 1006.73)
	4.41 (3.79 – 5.03)	84.16 (83.99 – 84.33)	20.63 (20.58 – 20.68)	274.92 (270.18 – 279.66)	271.98 (266.87 – 5.11)	4554.12 (4463.57 – 4644.67)
<b>GMTP 2 CCN-TV</b>	2.20 (1.94 – 2.46)	93.27 (93.15 – 93.39)	7.42 (7.31 – 7.53)	704.79 (686.92 – 722.66)	850.29 (833.76 – 16.53)	2933.60 (2901.79 – 2965.41)
	5.83 (4.98 – 6.68)	84.06 (83.90 – 84.22)	20.50 (20.45 – 20.55)	723.74 (708.04 – 739.44)	777.90 (764.29 – 13.61)	14032.32 (13765.55 – 14299.09)
<b>GMTP 3 CCN-TV</b>	2.07 (1.74 – 2.40)	93.61 (93.46 – 93.76)	7.48 (7.38 – 7.58)	7985.91 (7827.17 – 8144.65)	6852.93 (6713.47 – 139.46)	28501.28 (28142.15 – 28860.41)
	6.96 (5.96 – 7.96)	82.99 (82.79 – 83.19)	20.59 (20.53 – 20.65)	7962.95 (7777.83 – 8148.07)	7875.36 (7697.21 – 178.15)	144365.38 (141357.78 – 147372.98)
<b>GMTP 4 CCN-TV</b>	2.10 (1.78 – 2.42)	93.12 (92.93 – 93.31)	7.79 (7.68 – 7.90)	13547.69 (13154.90 – 13940.48)	14507.32 (14164.85 – 342.47)	57945.70 (57236.01 – 58655.39)
	6.98 (5.87 – 8.09)	82.27 (82.05 – 82.49)	20.54 (20.47 – 20.61)	15934.60 (15588.61 – 16280.59)	15221.81 (14859.42 – 362.39)	283287.32 (277035.85 – 289538.79)
<b>GMTP 5</b>	2.25 (2.02 – 2.48)	92.92 (92.81 – 93.03)	7.38 (7.31 – 7.45)	27685.82 (27234.11 – 28137.53)	31946.67 (31525.98 – 420.69)	129665.79 (128857.79 – 130473.79)
Continuação na próxima página						





Tabela A.3 – continuação da página anterior

Trat. #	Atraso de inicialização (s)	Índice de continuidade (%)	Distorção do vídeo (%)	Conexões ao servidor	Conexões entre clientes	Pacotes de controle
<b>CCN-TV</b>	5.43 (4.61 – 6.25)	83.58 (83.38 – 83.78)	20.78 (20.72 – 20.84)	7880.14 (7678.07 – 8082.21)	6344.17 (6165.67 – 178.50)	132808.98 (129592.34 – 136025.62)
<b>GMTP 16 CCN-TV</b>	2.06 (1.71 – 2.41)	92.99 (92.84 – 93.14)	7.72 (7.62 – 7.82)	12930.90 (12639.34 – 13222.46)	13267.89 (12953.61 – 314.28)	61390.66 (60777.47 – 62003.85)
	6.37 (5.56 – 7.18)	82.96 (82.80 – 83.12)	20.75 (20.70 – 20.80)	16103.99 (15765.85 – 16442.13)	14600.90 (14240.89 – 360.01)	259228.45 (253833.38 – 264623.52)
<b>GMTP 17 CCN-TV</b>	2.08 (1.82 – 2.34)	91.90 (91.76 – 92.04)	7.22 (7.14 – 7.30)	26423.28 (25790.10 – 27056.46)	32127.69 (31638.21 – 489.48)	125339.24 (124097.93 – 126580.55)
	5.90 (4.99 – 6.81)	85.06 (84.88 – 85.24)	20.46 (20.41 – 20.51)	29267.72 (28716.69 – 29818.75)	28369.11 (27811.15 – 557.96)	586015.86 (575627.27 – 596404.45)
<b>GMTP 18 CCN-TV</b>	2.18 (1.82 – 2.54)	93.60 (93.44 – 93.76)	8.16 (8.08 – 8.24)	39118.66 (38107.34 – 40129.98)	40094.59 (39163.91 – 930.68)	149991.96 (148027.77 – 151956.15)
	6.24 (5.32 – 7.16)	82.62 (82.40 – 82.84)	20.48 (20.42 – 20.54)	38243.53 (37376.60 – 39110.46)	43278.79 (42184.54 – 1094.25)	788436.46 (775712.37 – 801160.55)