

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

1	Análise do Projeto e do Desempenho do GMTP	1
1.1	Análise do Projeto	2
1.1.1	Projeto e benefícios do GMTP para as aplicações e para a rede . . .	2
1.1.2	Comparativo: GMTP, Denacast/CoolStreaming e CCN	5
1.2	Avaliação de Desempenho	14
1.2.1	Objetivo e hipótese	14
1.2.2	Topologia de rede	15
1.2.3	Definição das variáveis e parâmetros dos sistemas estudados	16
1.2.4	População e amostras	19
1.2.5	Tratamentos	19
1.2.6	Instrumentação	21
1.2.7	Formato da mídia	23
1.3	Resultados e Discussões	23
1.3.1	Qualidade de serviço à aplicação	24
1.3.2	Escalabilidade dos sistemas	28
1.3.3	Sobrecarga de controle	29
1.3.4	Sumarização dos resultados	29
1.4	Sumário do Capítulo	30
A	Detalhes dos Experimentos	36
A.1	Largura de Banda e Atraso de Propagação Utilizados na Rede Simulada . .	36
A.2	Distribuição da quantidade de nós clientes nos primeiros 200 s de simulação	38
A.3	Distribuição da quantidade de nós clientes após os 400 s de simulação . . .	38
A.4	Quantidade de Ensaios	38

A.5 Resultados Compilados	39
-------------------------------------	----

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.	15
1.2	Exemplo de cálculo das variáveis dependentes ST, IC. Nesse caso, o valores ST = 4 s e IC = 70 %.	18
1.3	Distribuição da quantidade de nós clientes nos primeiros 200 s de simulação. Cada ensaio teve uma distribuição diferente, mas igual para a execução de cada sistema.	21
1.4	Distribuição da quantidade de nós clientes nos primeiros 200 s de simulação. Cada ensaio teve uma distribuição diferente, mas igual para a execução de cada sistema.	22
1.5	Distribuição da quantidade de nós clientes após os 200 s de simulação, com variação a cada 5 s, para o ensaio 1 de todos os tratamentos. Cada ensaio teve uma distribuição diferente, mas igual para a execução de cada sistema.	22
1.6	Taxa de bits variáveis dos primeiros 200 s da média utilizada no experimento (<i>Star Wars IV</i>).	23
1.7	Resultado dos tratamentos (1 – 18) para a métrica <i>Atraso de Inicialização</i>	25
1.8	Resultado dos tratamentos (1 – 18) para a métrica <i>Índice de Continuidade</i>	28
1.9	Resultado dos tratamentos (1 – 18) para a métrica <i>Distorção</i>	29
1.10	Resultado dos tratamentos (1 – 18) para a métrica <i>Número de Conexões ao Servidor</i>	30
1.11	Resultado dos tratamentos (1 – 18) para a métrica <i>Número de Conexões entre Clientes</i>	31
1.12	Resultado dos tratamentos (1 – 18) para a métrica <i>Número de Pacotes de Controle</i>	32

Lista de Tabelas

1.1	Tabela das variáveis independentes utilizados no experimento.	17
1.2	Tabela dos fatores consideradas no experimento.	17
1.3	Tabela das variáveis dependentes (respostas) consideradas no experimento.	19
1.4	Tabela dos tratamentos executados no experimento.	20
1.5	Tabela das propriedades da mídia transmitida.	23
A.1	Largura de banda e atraso de propagação utilizados na rede simulada. . . .	36
A.2	Sumário dos valores obtidos para as variáveis dependentes em cada trata- mento do confronto GMTP vs. Denacast/CoolStreaming.	40
A.3	Sumário dos valores obtidos para as variáveis dependentes em cada trata- mento do confronto GMTP vs. CCN-TV.	44

Lista de Algoritmos

Capítulo 1

Análise do Projeto e do Desempenho do GMTP

Neste capítulo apresentam-se a análise de projeto e a avaliação de desempenho do protocolo GMTP. Considerou-se as propostas Denacast/CoolStreaming [1, 2] e o CCN-TV [3] a título de confronto devido à similaridade arquitetural e as estratégias para distribuição de mídias ao vivo. Tratam-se de 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, que essencialmente explora uma estratégia híbrida em consideração a esses concorrentes.

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

1.1 Análise do Projeto

Após o detalhamento do 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), que se tornam equivalentes aos recursos empregados na camada de aplicação por falta de uma melhor opção, promovendo-se melhorias substanciais no projeto das aplicações e principalmente no uso dos recursos de rede.

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.

1.1.1 Projeto e benefícios do GMTP para as aplicações e para a rede

Como já apresentado na problemática deste trabalho, os sistemas de distribuição de mídias ao vivo enfrentam problemas que acarretam nos seguintes requisitos de aplicação, cada um com seus desafios, buscando-se: melhorar a forma de 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, de disponibilizar informação de contexto sobre a rede para dar suporte à execução dos serviços das aplicações (localização da rede, medições de custos entre redes), de incentivar à cooperação entre nós, de inibir a participação de nós *free-riders*, de 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 5 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*: antes do GMTP, os desenvolvedores de sistemas multimídia eram obrigados a considerar limitações de arquitetura de rede no seus projetos de software. Por exemplo, a lógica para distribuição da mídia eram todas embutidas na aplicação, aumentando sua complexidade de manutenção. O GMTP abstrai a

complexidade de distribuir mídias ao vivo, por exemplo, com base no gerenciamento transparente de canais multicast (adicionar e remover) com a influência da aplicação, inclusive entre diferentes domínios administrativos. Além disso, abstraem-se outros aspectos importante à aplicação, como controle de congestionamento, sempre implantado na aplicação por falta de uma proposta como a do GMTP. Por exemplo, o sistema BitTorrent Live considera um algoritmo para controle de congestionamento chamado LEDBAT [4] que, apesar de contribuir para uma melhor utilização dos canais de comunicação, trata-se de uma ação isolada onde apenas um ou outro sistema faz e o restante não o faz, o que impede o melhor aproveitamento dos recursos de rede, em escala global.

2. *Interoperabilidade entre sistemas:* O GMTP unifica a forma que os sistemas finais transmitem e recebem mídias ao vivo, uma vez que todo esse processo ocorre na camada de transporte e sem qualquer influência da aplicação. Isto significa que os sistemas podem cooperar entre si sem necessariamente deter conhecimentos arquiteturais e de interfaces de aplicação (API) um sobre os outros. O plano é entregar as partes da mídia o mais rápido quanto possível, utilizando-se os melhores pares, independente dos sistemas. Para que isto seja possível, estabeleceu-se no GMTP funções como descrição da mídia e mecanismos que promovem a cooperação entre os nós, sem necessitar manter controle sobre os nós que mais contribuem e aquelas que apenas se aproveitam dos recursos dos outros (*free-riders*). Nesse ínterim, realiza-se outras funcionalidades importantes tanto para melhorar o serviço oferecido às aplicações quanto ao consumo de recursos de rede. Por exemplo, o mecanismo de controle de congestionamento empregado no GMTP, tanto no contexto de fluxos de dados unicast quanto multicast, funciona de forma colaborativa, sem a influência da aplicação, que não pode injetar informações falsas sobre sua percepção do estado da rede.
3. *Facilidade na integração:* os atuais e novos sistemas de distribuição de mídias ao vivo poderão integrar o GMTP de forma simples, uma vez que se manteve o uso da API tradicional de sockets. Isto significa que as aplicações poderão facilmente utilizar o GMTP. Para os sistemas existentes, muitas das funcionalidades, como as citadas no início desta seção não serão mais necessárias, podendo-se reduzir sobremaneira a com-

plexidade da aplicação e consequentemente de manutenção. Para os sistemas novos, permite-se uma prototipação mais rápida e com menos chances de erros, evitando-se a super utilização dos recursos de rede devido ao emprego de boas práticas de engenharia de software para distribuição de mídias ao vivo desacoplada da aplicação.

4. *Desacoplamento e Extensibilidade:* a organização do GMTP em dois módulos, GMTP-Inter e GMTP-Intra, permite o desacoplamento entre o que é função de rede e de aplicação, respectivamente. Isto evita que as funções de rede, como controle de congestionamento e distribuição de pacotes de dados não sofram influência da aplicação. Apesar disso, permite-se a troca de informações entre os sistemas finais e a rede pertinentes à distribuição de mídias (*Cross-Layer*). Além disso, possibilita-se a extensão do GMTP em casos de requisitos mais avançados da aplicação, quando não disponível no GMTP. Por exemplo, um desenvolvedor poderá promover alterações no GMTP-Intra e/ou GMTP-Inter a fim de atender suas necessidades sem afetar o GMTP-Inter e a aplicação em execução no sistema final. Uma fabricante de um roteador pode promover mudanças no GMTP-Inter (por exemplo, melhorar a estratégia de manipulação do *cache* ou de verificação de pacotes) e disponibilizar uma nova versão da *firmware* sem necessariamente ter que atualizar o GMTP-Intra em todos os sistemas finais. Esta tem sido uma prática comum atualmente, uma vez que os principais fabricantes já possuem estratégias de atualização automática da *firmware* para correções e/ou melhorias de funcionalidades, o que corrobora com a extensibilidade do GMTP. O inverso também pode ocorrer. Por exemplo, é possível alterar o formato de descrição de uma mídia (função do GMTP-Intra) sem precisar alterar o GMTP-Inter, permitindo-se atualizações gradativas dos sistemas finais para uma nova versão do GMTP-Intra, sem afetar também o funcionamento da aplicação, devido à abstração da API de sockets. Nesse contexto, os sistemas operacionais mais modernos também dispõem de mecanismos consolidados para promover atualizações no sistema sem afetar a camada de aplicação, tudo através da Internet. O fato é que se propõe no GMTP uma infraestrutura que permitirá a evolução do protocolo em afetar a camada de aplicação, permitindo-se a adição de outras estratégias de distribuição de mídias ao vivo que possam surgir futuramente.

5. *Eliminação de recursos paliativos e consequentes*: quando se delega muitas responsabilidades à aplicação, há uma tendência de desordem, de fragmentação de funcionalidades e consequentemente de um baixo aproveitamento dos recursos de rede, devido à liberdade que as aplicações passam a ter de promover seus próprios recursos da forma que seu desenvolvedor desejar. Por exemplo, em redes puramente P2P é sempre complexo manter uma estrutura sem nós *free-riders*, apesar de existirem algoritmos para reduzir o efeito dessa prática na rede. Um outro exemplo é o tratamento para conexão multi-ponto e tolerância às falhas. Essas e outras funções, como as supracitadas são empregadas nos sistemas de distribuição de mídias ao vivo baseados em uma arquitetura P2P para minimizar os efeitos do *churn*. Um outro exemplo são as soluções de aplicação que expõem às aplicações informações de contexto sobre a rede para dar suporte à execução dos serviços das aplicações (localização da rede, medições de custos entre redes). Mas argumentou-se no GMTP que isso não é um problema que deve ser tratado na aplicação, mas sim pela rede. A aplicação deve ser responsável pela interação com o usuário e não em tratar problemas de rede. Isso resulta na necessidade de outras práticas, como a ter que apelar aos nós da rede através de incentivos para permitir a cooperação, ter que instrumentar os servidores a adaptarem a mídia para reduzir sua qualidade porque a rede não suporta a transmissão no nível de qualidade desejado. Isto ocorre justamente porque não se faz uso dos recursos de rede de forma realmente colaborativa, ou seja, entre as entidades computacionais que realmente tem a responsabilidade de tratar aspectos intrínsecos à rede – os roteadores. Enfim, com o GMTP todos os recursos supracitados deixam de ser responsabilidades da aplicação, pois ou foram adaptados para funcionar nas camadas de transporte e rede, como é o caso de controle de congestionamento ou passaram a não fazer mais sentido se pensar a respeito, por exemplo, o caso de nós *free-riders*.

1.1.2 Comparativo: GMTP, Denacast/CoolStreaming e CCN

A seguir, apresentam-se detalhes de comparação entre o GMTP e os seus dois principais concorrentes: Denacast/CoolStreaming e CCN/NDN. O Denacast/CoolStreaming pode ser considerado o estado da prática, o principal representante dos sistemas para distribuição de mídias ao vivo e que consideram uma arquitetura P2P/CDN. Já o caso do CCN/NDN

pode ser considerada uma proposta de estado da arte, onde o foco da discussão passa a ser mais arquitetural, com aspectos significativos de melhoras que leva a discussão a um patamar comparativo menos relacionado com a camada de aplicação e mais relacionado com a infraestrutura de rede (da camada de transporte para baixo).

GMTP vs. Denacast/CoolStreaming:

1. No 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, efetivam-se parcerias 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) e 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.
2. O conceito de sub-fluxo empregado no CoolStreaming adiciona complexidade à solução sem necessariamente resultar em melhor desempenho. Em [5], 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 atraso para começar a reprodução de uma mídia ao usuário final (apenas o primeiro usuário perceberá um atraso maior do que os demais). 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 desse caminho a replicar o fluxo para o novo nó cliente, em vez de responder com a aceitação do pedido de conexão. Com isso, o GMTP é a primeira proposta que considera que os nós servidores auxiliam os nós intermediários na tomada de decisão de roteamento, com foco na necessidade do nó cliente em rapidamente receber os pacotes da mídia e consequentemente na otimização de uso dos recursos de rede.

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. Por exemplo, no CoolStreaming e sistemas similares, se o usuário fechar o aplicativo pode resultar em interrupções temporárias na reprodução da mídia por parte de outros nós da rede, impactando no índice de continuidade.
4. Um nó recém integrado à rede DONet pode levar muito tempo (em alguns casos 20 segundos) para obter os primeiros blocos da mídia a fim de reproduzi-lo ao usuário final. Isto porque, ao se conectar 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 da mídia. Por exemplo, se o novo nó requisitar um bloco de vídeo muito antigo, pode ser que

tal bloco não esteja mais disponível, já que o nó cliente (suposto parceiro) remove o bloco após sua reprodução. Por outro lado, se o nó requisitar um bloco da mídia muito recente, pode ser que nenhum de seus nós parceiros o tenha disponível, aumentando-se o tempo de espera. No GMTP, situações como essas não ocorrem porque se utiliza, por padrão o método *push* e, além disso, as últimas partes da mídia (mais atuais) já podem estar disponíveis no roteador, quando houver outros clientes conectados anteriormente já recebendo o fluxo de dados correspondente à mídia de interesse.

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 da mídia, 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, devido à dinâmica da rede. Um nó parceiro que é identificado com um nó ruim, no instante seguinte pode ser que o cenário mude e o referido nó passe a ser a melhor parceria, porém a desconexão entre estes já pode ter sido efetivada. Para realizar essa avaliação, cada nó monitora o *buffer* de recepção dado um sub-fluxo j transmitido por um nó C_1 ao nó C_2 , observando as inequações ?? e ??, apresentadas na Seção ?? e então toma-se uma decisão. Essa estratégia é muito complexa quando em sistemas de distribuição multimídia em larga escala, pois se exige o monitoramento constante dos *buffers* dos sub-fluxos, o que implica em exaustivas trocas de mapa de *buffer*, o que aumenta gradativamente à medida em que se aumenta a quantidade de nós no conjunto definido por *parents* e *partners* para um dado nó C_2 , tal como se discutiu na Seção ?. A consequência 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 nada disso é necessário, aliás, faz-se de uma forma bastante diferente. Utiliza-se o próprio algoritmo de controle de congestionamento (GMTP-Inter), que expõe aos nós clientes e aos nós servidores o nível de utilização do canal a cada instante definido com base no RTT. Isso permite a formação de parcerias sem precisar exigir que as aplicações monitorem o estado da rede. Dessa forma, tanto um nó receptor quanto o nó transmissor

conhecem a capacidade máxima de transmissão no canal que separa ambos e, assim, o nó transmissor ajusta sua taxa de transmissão em direção ao nó receptor de acordo com a capacidade de transmissão disponível em um certo instante, exposta em todos os pacotes de dados trocados.

6. No ponto de vista da rede P2P, as considerações sobre o sistema Denacast são similares ao caso do CoolStreaming. Com relação a arquitetura geral, no Denacast se propõe 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.

GMTP vs. CCN/NDN:

1. 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, nas redes ICN, em especial CCN/NDN, observou-se uma tendência a considerar uma arquitetura mais genérica possível para permitir diferentes padrões de tráfego, mas isso não é trivial – certos tipos de tráfego, multimídia por exemplo, requer tratamento peculiar da aplicação e principalmente da rede. Por este motivo, 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. Como resultado do GMTP, adiciona-se 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. Estrategicamente, adotou-se a premissa de que é mais importante entregar os pacotes de dados às aplicações de rede o mais ra-

- pidamente possível, mesmo que para isso tivesse que enfraquecer possíveis restrições comerciais da mídia sendo transportada. Nesse último caso, se houver restrições comerciais simplesmente pode-se optar por não utilizar o GMTP ou implementar um mecanismo proprietário de codificação e autenticação. Isto pode ser feito diretamente na aplicação em estendendo-se o GMTP-Intra.
2. Como consequência do item anterior, a rede CCN/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 se utiliza uma estrutura de *buffer* circular, substituindo-se as partes da mídia à medida que se recebem as partes subsequentes, sem a necessidade do roteador transmitir, a todo instante, o equivalente ao que foi denominado de pacote de interesse, considerando-se nomenclaturas básicas das redes CCN/NDN. Em CCN/NDN, um dos grandes desafios é definir quanto tempo um dado deve permanecer em *cache*, já que nem sempre os pacotes contém dados transientes. Isto impacta diretamente nos sistemas de mídia ao vivo, uma vez que um pacote pode expirar e continuar sendo mantido em *cache*. Isto motiva outro desafio: determinar se o dado em *cache*, principalmente em aplicações elásticas, ainda é válido. Atualmente esses são aspectos ainda não bem definidos nas redes CCN/NDN e que podem aumentar a sobrecarga de controle nessas redes. No caso do GMTP, decidiu-se continuar usando redes IP com o objetivo de que a sua adoção seja mais simples, considerando-se a estratégia de apenas instrui os roteadores a realizar uma política mais sofisticada de repasse quando os pacotes entram na fila de roteamento, aproveitando-se a oportunidade de também repassá-lo através de rotas adicionais, de acordo com a demanda.
 3. Para executar as aplicações de rede existentes na Internet sobre uma rede CCN/NDN, fazem-se necessárias maiores alterações nos sistemas de transmissão de mídias ao vivo. Será necessário que os atuais sistemas mudem a lógica de requisição das partes da mídia, sendo mandatório 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.

Em CCN/NDN há uma inversão na forma que uma aplicação obtém os pacotes de dados. Isto porque propõe-se que o nó cliente controle praticamente todas as funções de transporte de dados, como controle de perda/erro, controle de congestionamento e de fluxo. No GMTP, realiza-se uma forma implícita de nomear os fluxos, levando-se em consideração a estratégia atual de acesso baseada em endereço IP e porta. Gerar um código único baseado nesses dois parâmetros evita a necessidade de ter que alterar as aplicações para especificar o nome do conteúdo a ser acessado. Além disso, o controle das funções não é delegado aos nós clientes, como ocorre nas redes CCN/NDN, principalmente em se considerando distribuição de mídias ao vivo. Pelo contrário, os nós finais (cliente e servidor) passam a ter uma participação mínima no processo de distribuir os pacotes de dados e o GMTP extrapola o limite da construção de uma rede P2P, pois também promove serviços que evitam a ocorrência de requisitos e problemas consequentes da estratégia de uma rede P2P apenas na camada de aplicação, como os citados no início dessa seção. Enfim, mantém-se o GMTP no âmbito do paradigma das redes IP, sem exigir grandes mudanças no núcleo da rede, executando-se as funções de compartilhamento de um mesmo fluxo de dados através da formação de parcerias entre os roteadores, instruídos pelos nós servidores, que detém o efetivo conhecimento da demanda por um certo conteúdo.

4. Nas redes CCN/NDN, o mecanismo que determina a interceptação de um pacote de interesse é limitado à verificação local se o fluxo de dados já está sendo recebido ou não, sem auxílio de qualquer outro nó. Por exemplo, 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 dos pacotes de dados 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 e já sendo utilizadas para transmitir o respectivo fluxo. De fato, há uma troca de serviços, pois o roteador também auxilia o servidor informando qual deve ser sua taxa ideal de transmissão, evitando-se super utilização do canal e permitindo que, se necessário, o servidor realize adaptações no conteúdo.
5. Nas redes CCN/NDN, ainda não está claramente definido o uso de soluções mais oti-

- mizadas de controle de congestionamento, pelo contrário, as propostas ainda estão no âmbito de algoritmos tradicionais baseado em janelas deslizantes ou similares. Em diversas pesquisas recentes, demonstrou-se que utilizar os roteadores para realizarem controle de congestionamento melhora sobremaneira o desempenho da rede e das aplicações. No GMTP, optou-se por utilizar tal abordagem, estendendo-a para permitir que o nó servidor sugira aos roteadores quais parcerias devem ser efetivadas, baseando-se na capacidade atual de transmissão dos canais conhecidos. Além disso, definiu-se um mecanismo para segmentar um caminho entre o cliente e o servidor com base na capacidade de transmissão dos nós intermediários. Em nenhuma outra proposta disponível no estado da arte isto foi feito. Já nas ICNs, as pesquisas estão concentradas em fazer com o que o nó servidor disponibilize múltiplos fluxos de dados codificados em diferentes *bit-rates*, onde os nós clientes devem monitorar sua capacidade de recepção e requisitar o fluxo de dados mais apropriado. Monitorar a capacidade de transmissão dos sistemas finais baseado apenas nas perdas de dados e atraso não é uma solução efetiva, principalmente devido à dinâmica de entrada e saída dos nós na rede (*churn*).
6. Em CCN/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 proporcional à quantidade de pacotes de dados, aumentando a ocupação dos *buffers* dos roteadores. Isto porque os nós precisam continuamente enviar pacotes de interesse para obter os próximos pacotes de dados, consequentemente os pacotes de interesse sempre disputarão o canal de transmissão com os pacotes de dados. Para sistemas de distribuição de mídias ao vivo isto pode ser crítico. Note que as requisições estão sujeitas às condições de rede do canal de *upload* (do nó receptor ao nó transmissor, já que o nó cliente controla os serviços de transporte), aumentando-se a probabilidade de perdas de pacotes de interesse, consequentemente da recepção dos respectivos 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. A perda de um pacote de interesse aumenta o atraso em receber os pacotes de dados, pois os nós clientes devem retransmitir os pacotes de interesse, impactando diretamente em métricas como índice de continuidade e distorção do conteúdo. O índice de continuidade pode aumentar porque a perda de um pacote

de interesse pode gerar várias perdas de pacotes de dados. No caso da distorção do conteúdo, um nó cliente pode até receber um pacote de dados (depois de retransmitir uma ou mais vezes os pacotes de interesse), porém o atraso de recepção pode ser alto suficiente ao ponto de não fazer mais sentido reproduzi-lo ao usuário final. Sendo assim, mesmo em cenários onde o canal de *download* não esteja congestionado, os nós receptores também podem experimentar uma baixa qualidade de serviço devido às perdas de pacotes de interesse. No GMTP, manteve-se o conceito de estabelecimento de conexão, apesar de uma versão adaptada dos modos tradicionais, então uma vez estabelecida uma conexão, os nós clientes não precisam transmitir novas solicitações a todo instante a fim de obter os próximos pacotes de dados (*push*).

7. Ainda no contexto do item anterior, quando ocorre perda ou o atraso dos pacotes de interesse em CCN/NDN, a rede não será capaz de transmitir os pacotes de dados em tempo hábil ou nunca conseguir transmiti-los, uma vez que os mesmos podem expirar no *cache* dos roteadores e portanto se tornarem inacessíveis. Nesse contexto, surgem alguns dilemas: qual é o melhor momento de desistir de requisitar um pacote de dados e requisitar o próximo. Como saber se o próximo pacote de dados foi gerado ou se a transmissão já terminou. Atualmente, existe um estudo sobre introduzir uma função chamada de agregação de pacotes de interesse [6]. 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 vivo¹. No ponto de vista prático, o usuário experimentará uma rajada de perda de pacotes de dados e a reprodução do conteúdo comprometida, impactando na métrica Índice de Continuidade.

Como base no resumo comparativo apresentado nesta seção entre os projetos GMTP, Denacast/CoolStreaming e CCN, a seguir, concentram-se as discussões em uma avaliação de desempenho do GMTP em um cenário de transmissão de uma mídia ao vivo.

¹Os pacotes de dados em CCN/NDN tem MTU de 8800 *bytes* ou de 4096 *bytes*, ao passo que em redes IP se utiliza MTU de 1500 *bytes* (geralmente).

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 distribuição 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 GÉANT², 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.

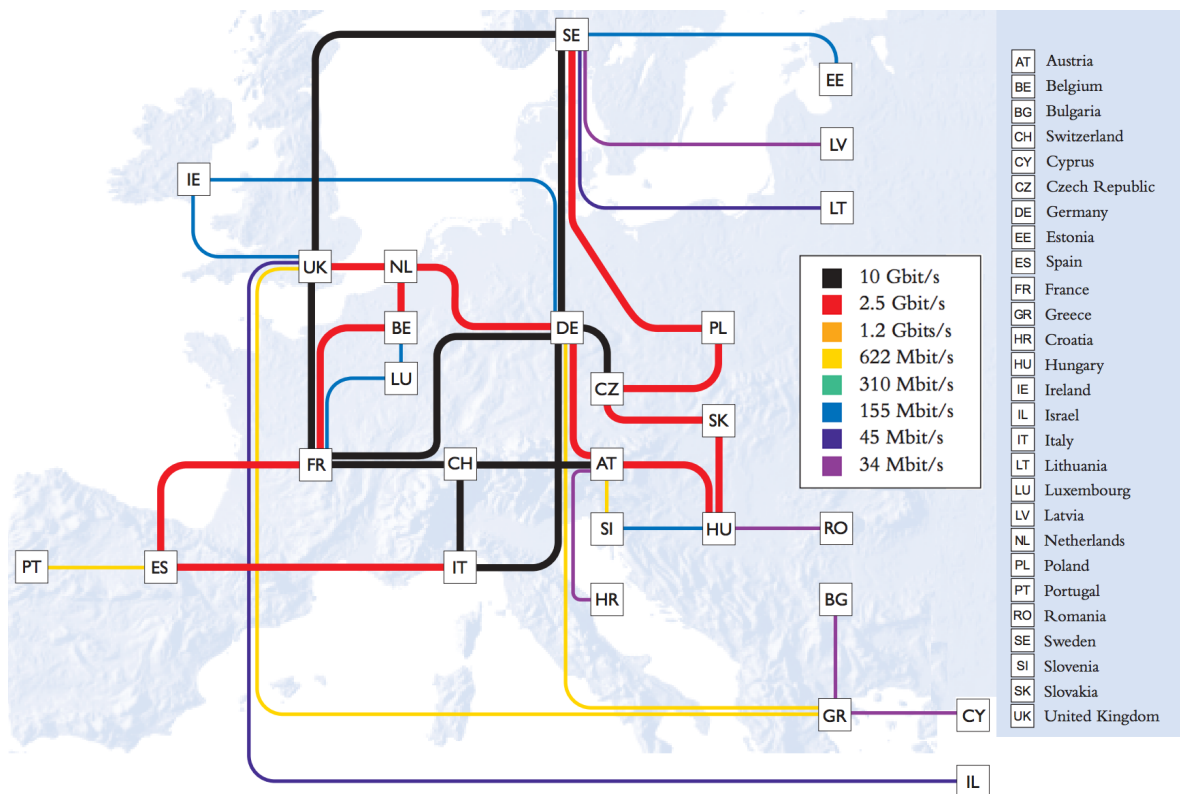


Figura 1.1: Versão resumida do *backbone* da rede GÉANT.

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 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

²Rede 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/>.

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.

Variáveis dependentes:

As principais métricas para medir um sistema de distribuição de mídias ao vivo podem ser organizadas em três categorias [7, 8], apresentadas a seguir.

Tabela 1.1: Tabela das variáveis independentes utilizados no experimento.

Parâmetros	Valores
Dinâmica da rede (<i>churn</i>) ¹	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> , 5 <i>Mbps</i>
Tipo da mídia ²	MPEG4 Part I

¹ Para mais detalhes, consultar Seção 1.2.5.² 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 ¹	500; 1.500; 15.000; 30.000; 60.000; 80.000

¹ Todos os clientes solicitaram a mídia nos primeiros 200 *s* de cada ensaio. Mais detalhes na Seção 1.2.5.

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.

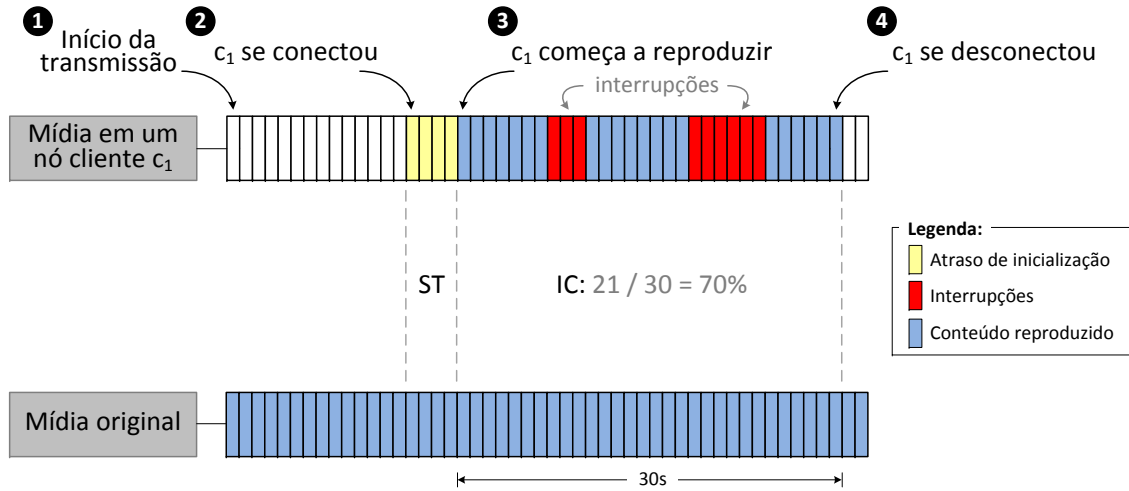


Figura 1.2: Exemplo de cálculo das variáveis dependentes ST, IC. Nesse caso, o valores $ST = 4s$ e $IC = 70\%$.

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) μ_1, μ_2 de cada variável dependente, fixando-se μ_1 como a média das variáveis dependentes do GMTP e μ_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

Tabela 1.4: Tabela dos tratamentos executados no experimento.

Trat. #	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

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 [9]. 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.4, apresentam-se mais detalhes sobre o cálculo de n_t .

Por fim, para a execução de cada ensaio para todos os tratamentos, independente do sistema a ser executado, determinou-se o seguinte:

1. Configurou-se todos os nós clientes para enviar a requisição da mídia a um servidor escolhido aleatoriamente (distribuição uniforme), de modo que se conectaram os nós aos mesmos servidores. Sendo assim, garantiu-se que todos os sistemas avaliados foram 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 e 5 Mbps. No gráfico da Figura 1.3, representa-se a distribuição das taxas de *upload* pela quantidade de nós. Dessa forma,

assegurou-se que os nós clientes foram submetidos as mesmas capacidades de transmissão, independente do sistema avaliado.

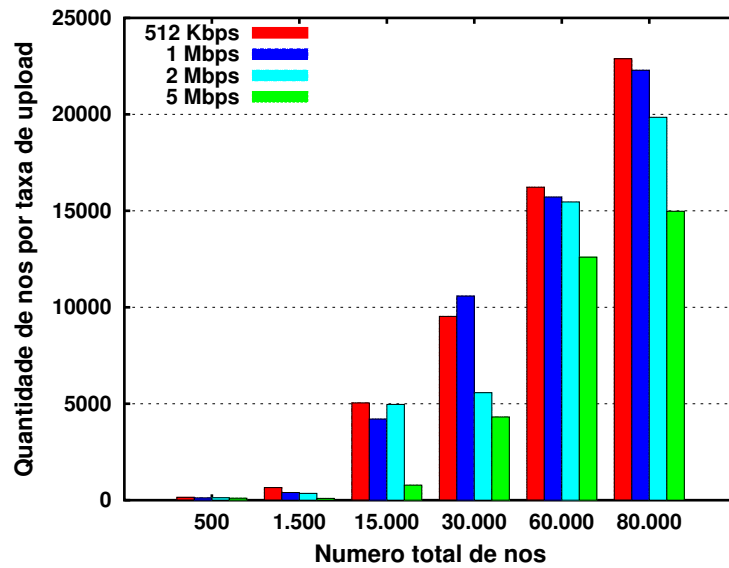


Figura 1.3: Distribuição da quantidade de nós clientes nos primeiros 200 s de simulação. Cada ensaio teve uma distribuição diferente, mas igual para a execução de cada sistema.

3. Todos os nós clientes requisitaram a média nos primeiros 200 s. Por exemplo, no gráfico da Figura 1.4, representa-se a distribuição de conexão à rede para o ensaio 1 de todos os tratamentos representada. Cada ensaio teve uma distribuição diferente, mas igual para a execução de cada sistema. Dessa forma, garantiu-se que os sistemas foram submetidos às mesmas condições iniciais de conexão. No Apêndice A, Seção A.2, discute-se mais detalhes sobre essa distribuição.
4. A função de *churn* foi acionada no instante 400 s. Por exemplo, no gráfico da Figura 1.5, representa-se a distribuição de conexões e desconexões para o ensaio 1 de todos os tratamentos. Cada ensaio teve uma distribuição diferente, mas igual para a execução de cada sistema. Com isto, garantiu-se que todas os sistemas avaliados foram submetidos às mesmas condições de dinâmica da rede. No Apêndice A, Seção A.3, discute-se mais detalhes sobre essa distribuição.

1.2.6 Instrumentação

Com relação à instrumentação, utilizou-se OMNet++ [10, 11], um arcabouço para construção de simuladores de rede. Nesse contexto, utilizaram-se dois simuladores: o OverSim [12] e o

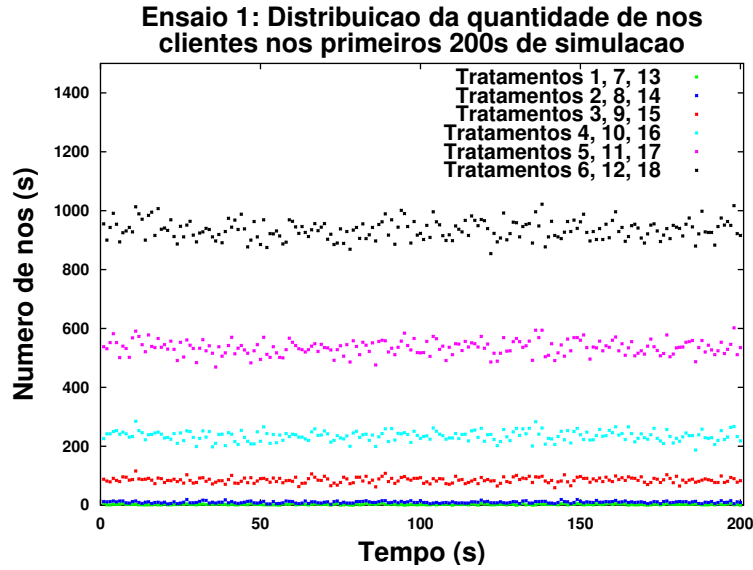


Figura 1.4: Distribuição da quantidade de nós clientes nos primeiros 200 s de simulação. Cada ensaio teve uma distribuição diferente, mas igual para a execução de cada sistema.

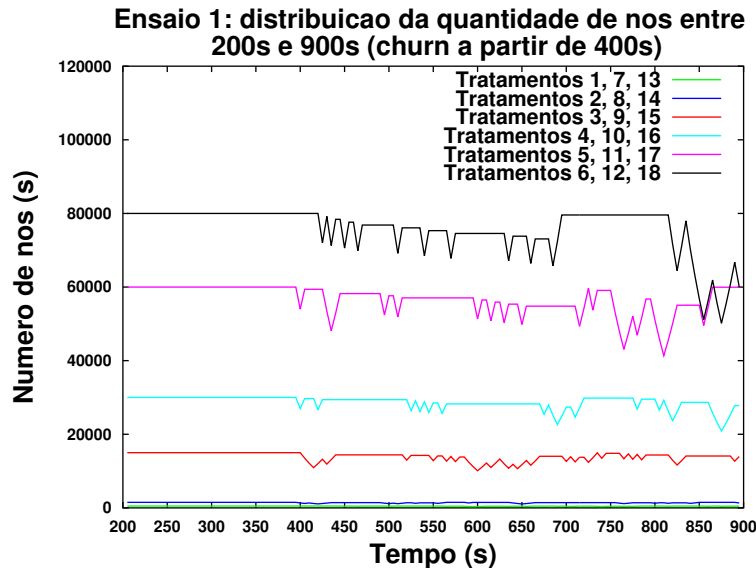


Figura 1.5: Distribuição da quantidade de nós clientes após os 200 s de simulação, com variação a cada 5 s, para o ensaio 1 de todos os tratamentos. Cada ensaio teve uma distribuição diferente, mas igual para a execução de cada sistema.

CCN-Sim [13]. No OverSim, utilizaram-se as implementações do sistema Denacast/CoolStreaming [14] e a do GMTP [15] (implementado no contexto deste trabalho), ao passo que no CCN-Sim, utilizou-se a implementação do CCN-TV [16].

1.2.7 Formato da mídia

Na Tabela 1.5, apresentam-se as propriedades da mídia utilizada no experimento [17] e na Figura 1.6 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>

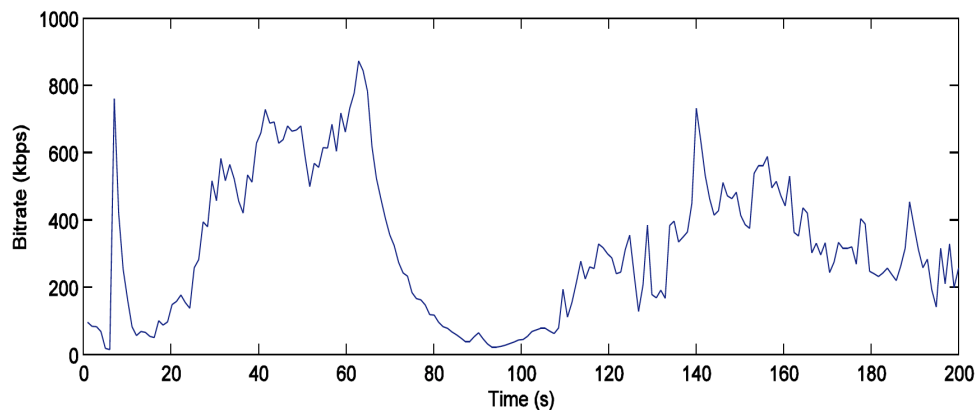


Figura 1.6: Taxa de bits variáveis dos primeiros 200s da mídia utilizada no experimento (*Star Wars IV*).

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, ou seja, 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, analisa-se o desempenho dos sistemas estudados a respeito dessas métricas.

Atraso de inicialização:

Na Figura 1.7, 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.

CORRIGIR O TEMPO DO DENACAST, TENTAR VER SE DÁ PRA CAPTURAR ALGUMA COISA DO PAPER DO CCN-TV

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

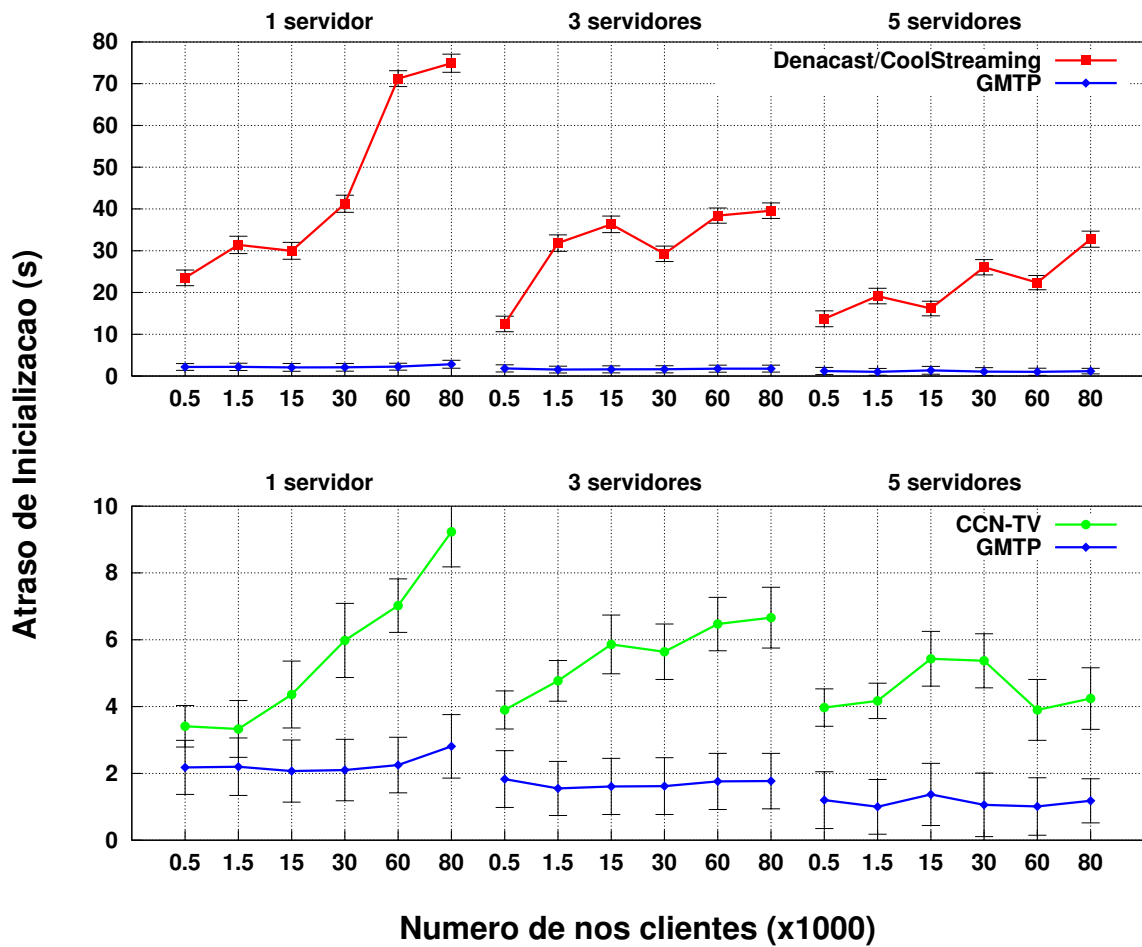


Figura 1.7: Resultado dos tratamentos (1 – 18) para a métrica *Atraso de Inicialização*.

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 GMTTP, 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 [6]. 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

CCN-TV perde por causa das perdas de pacotes de interesse, congestionado etc.

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 [5] (Tratamento 5 e 6): O conceito de sub-fluxo adiciona complexidade à solução sem necessariamente resultado em melhor desempenho. Em [5], 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.

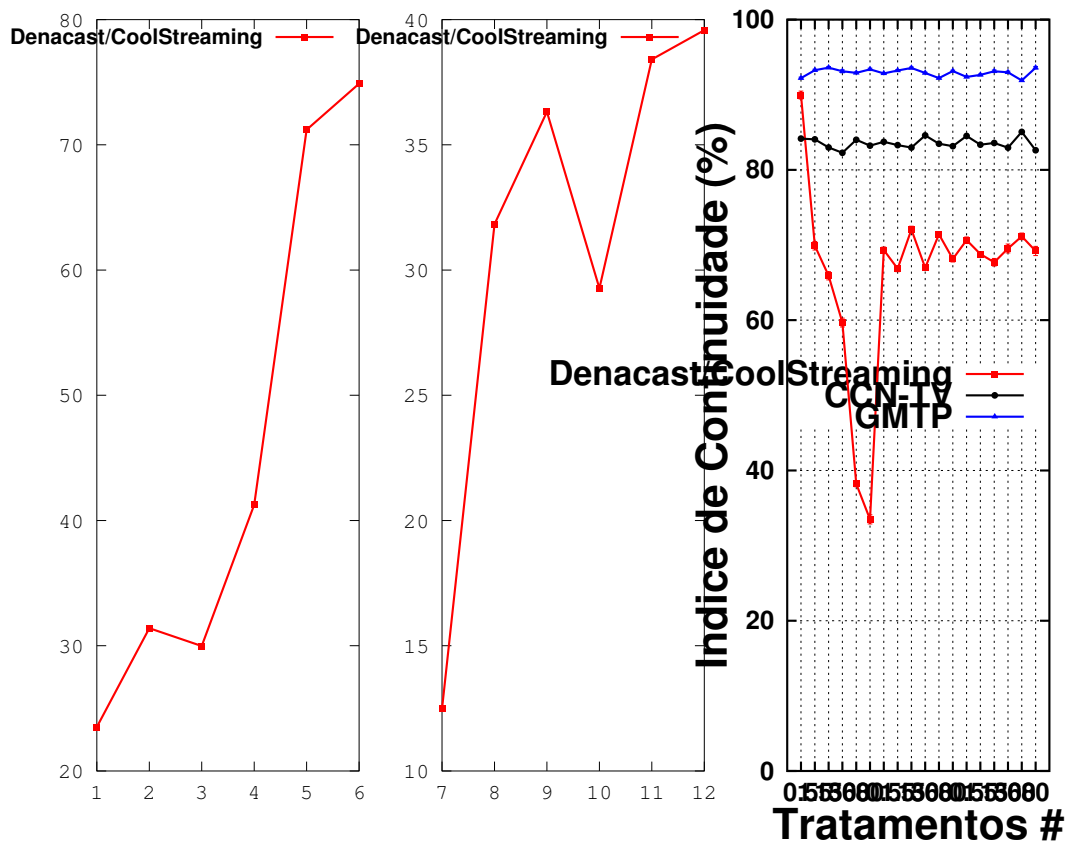


Figura 1.8: Resultado dos tratamentos (1 – 18) para a métrica *Índice de Continuidade*.

1.3.2 Escalabilidade dos sistemas

Conexões ao servidor x Conexões entre clientes

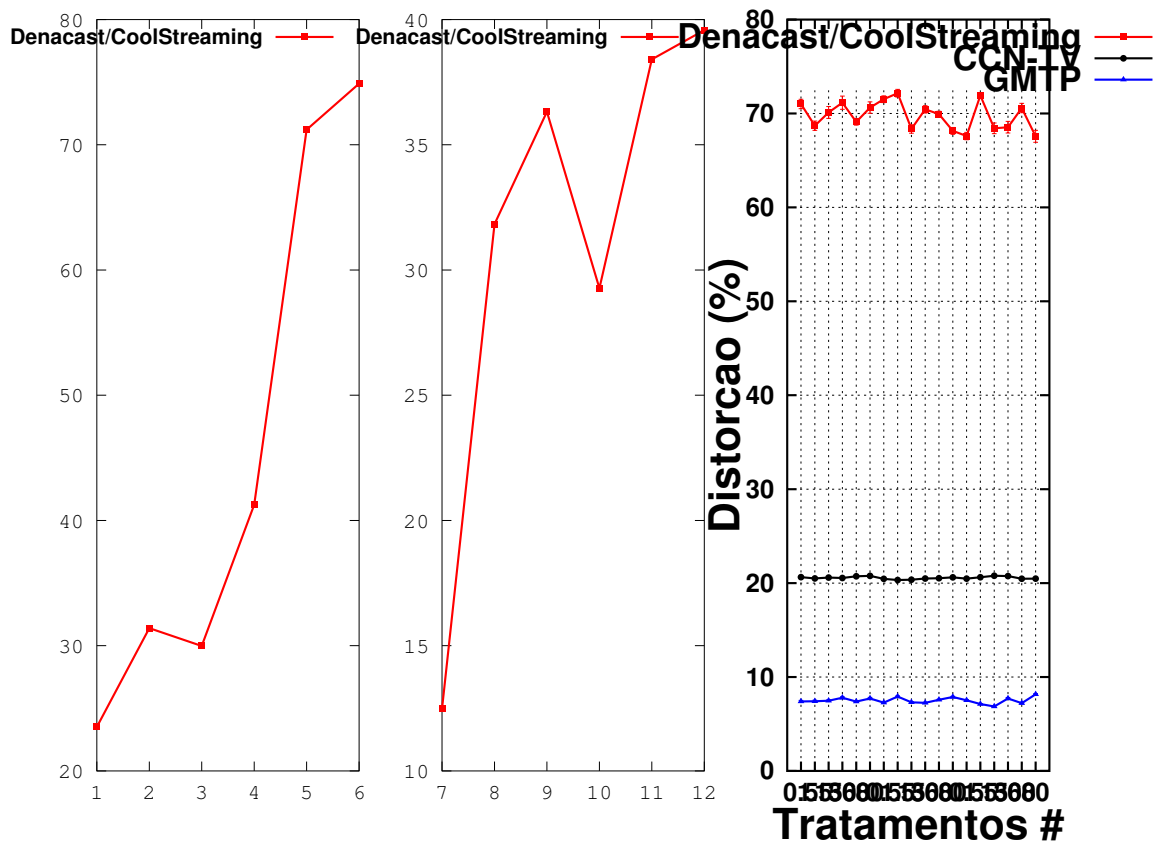


Figura 1.9: Resultado dos tratamentos (1 – 18) para a métrica *Distorção*.

1.3.3 Sobrecarga de controle

Pacotes de Controle x Número de nós clientes

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)

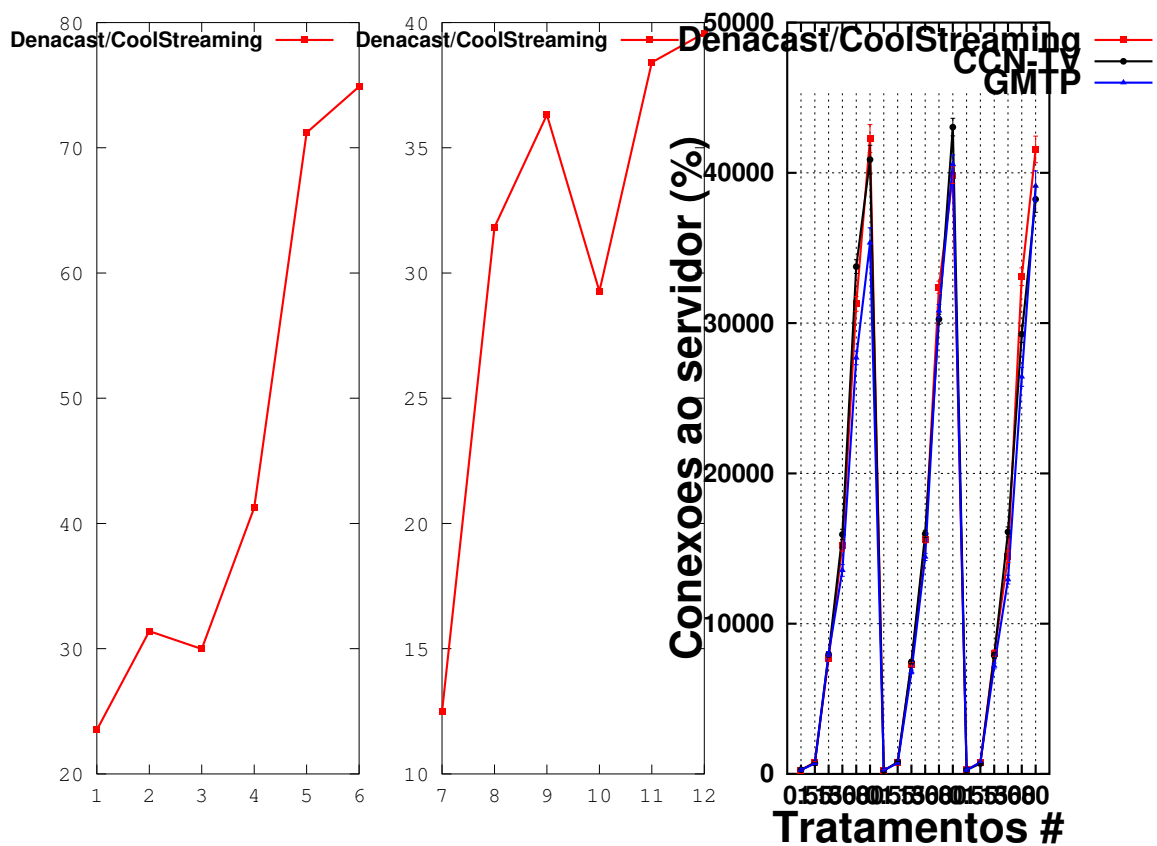


Figura 1.10: Resultado dos tratamentos (1 – 18) para a métrica *Número de Conexões ao Servidor*.

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 sendo transmitidos

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

- 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)

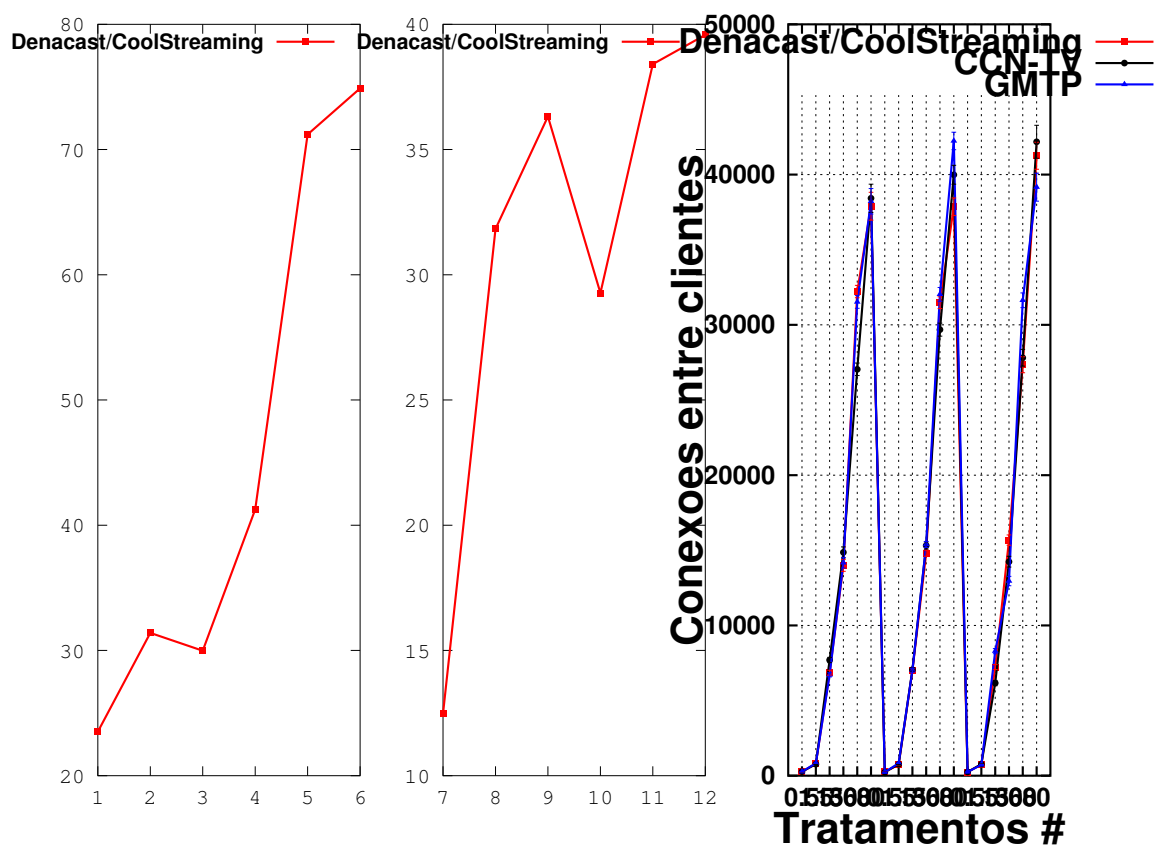


Figura 1.11: Resultado dos tratamentos (1 – 18) para a métrica *Número de Conexões entre Clientes*.

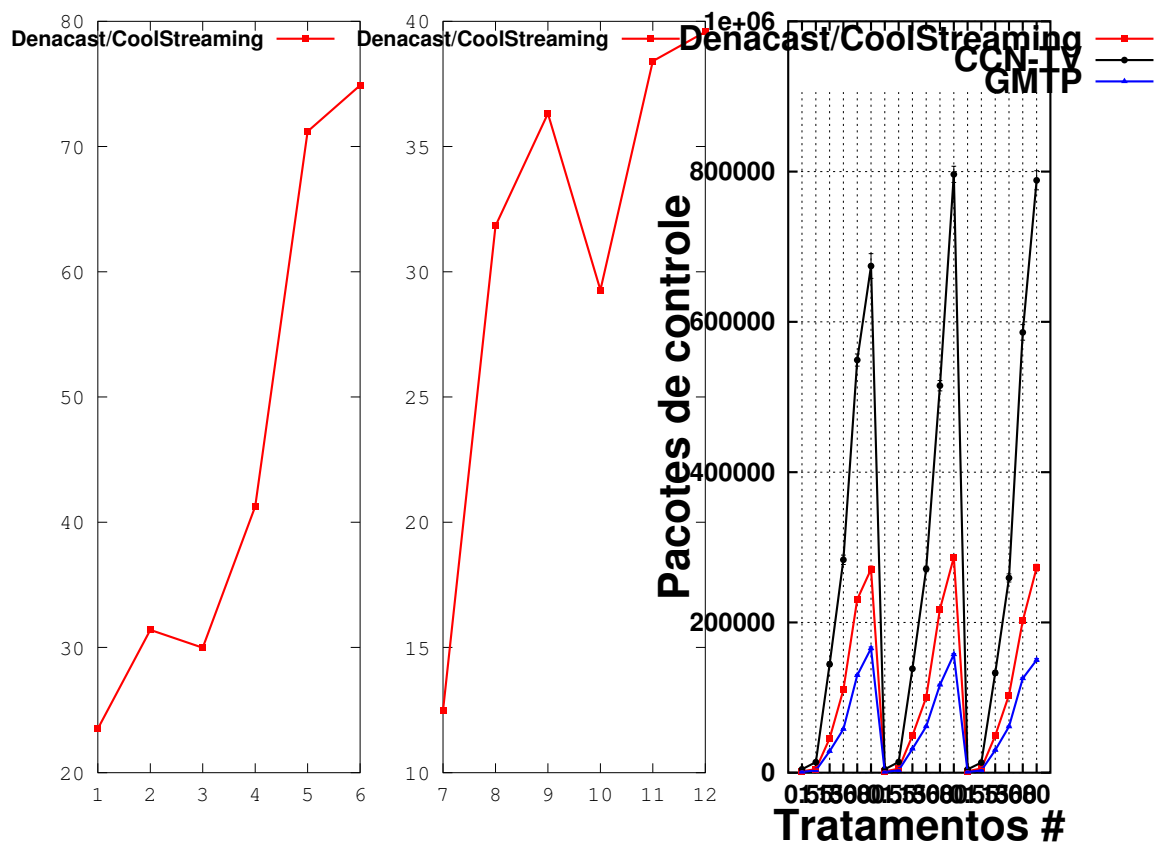


Figura 1.12: Resultado dos tratamentos (1 – 18) para a métrica *Número de Pacotes de Controle*.

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] S. Shalunov, G. Hazel, J. Iyengar, and M. Kuehlewind. Low extra delay background transport (LEDBAT), 10 2011. <http://tools.ietf.org/id/draft-ietf-ledbat-congestion-09.txt>. Último acesso: 5 de Abril de 2014.
- [5] 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.
- [6] 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.

-
- [7] 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.
 - [8] 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.
 - [9] 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.
 - [10] 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.
 - [11] Andras Varga. OMNeT++: Extensible, Modular, Component-based C++ Simulation Library and Framework for Building Network Simulators, 3 2014. <http://www.omnetpp.org/>. Último acesso: 5 de Abril de 2014.
 - [12] Stephan Krause Ingmar Baumgart, Bernhard Heep. OverSim: the Overlay Simulation Framework, 3 2014. <http://www.oversim.org/>. Último acesso: 5 de Abril de 2014.
 - [13] 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: 5 de Abril de 2014.
 - [14] S. M Y Seyyedi and B. Akbari. Denacast: A P2P/CDN Video Streaming System in OverSim, 3 2014. <http://www.denacast.org/>. Último acesso: 5 de Abril de 2014.
 - [15] Leandro Melo de Sales. Global Media Transmission Protocol (GMTP), 3 2014. <http://www.gmtp-protocol.org/>. Último acesso: 5 de Abril de 2014.

-
- [16] 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: 5 de Abril de 2014.
- [17] 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

Na Tabela A.1, apresenta-se a largura de banda e o atraso de propagação da rede utilizada no experimento apresentado no Capítulo 1.

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>

Continuação na próxima página

Tabela A.1 – continuação da página anterior

#	Roteador 1	Roteador 2	Largura de Banda	Atraso de Propagação
10	SE	EE	155 Mbps	8.78 ms
11	SE	LV	34 Mbps	9.71 ms
12	SE	LT	45 Mbps	10.78 ms
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 Distribuição da quantidade de nós clientes nos primeiros 200 s de simulação

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, sortearam-se 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.

A.3 Distribuição da quantidade de nós clientes após os 400 s de simulação

Para definir o churn da rede definiu-se a seguinte estratégia: 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 0.8. Ou seja, os nós foram mantidos conectados à rede com uma probabilidade de 80 % e removidos com uma probabilidade de 20 %.

A.4 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 μ_1 correspondeu à média obtida para uma variável dependente através da execução do GMTP e, μ_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.5 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 (1.37 – 2.99)	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)
	4.51 (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 (1.34 – 3.06)	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)
	6.40 (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 (1.14 – 3.00)	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 (1.18 – 3.02)	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)
	20.26 (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 (1.42 – 3.08)	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
Denacast	21.21 (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)
	2.81 (1.36 – 3.26)	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)
Denacast	22.89 (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)
	1.83 (1.48 – 3.18)	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)
Denacast	3.48 (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)
	1.55 (1.24 – 2.86)	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)
Denacast	6.83 (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)
	1.61 (1.27 – 2.95)	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)
Denacast	16.32 (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)
	1.62 (1.27 – 2.97)	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)
10	Continuação na próxima página					

Continuação na próxima página

Trat. #	Atraso de inicialização (s)	Índice de continuidade (%)	Distorção do vídeo (%)	Conexões ao servidor	Conexões entre clientes	Pacotes de controle
Denacast	15.27 (21.43 – 23.11)	66.98 (66.66 – 67.30)	70.44 (70.05 – 70.83)	15582.25 (15365.87 – 15798.63)	15018.23 (14808.96 – 209.27)	100287.74 (99052.38 – 101523.10)
	1.76 (1.42 – 3.10)	92.21 (92.12 – 92.30)	7.58 (7.52 – 7.64)	30817.09 (30394.05 – 31240.13)	32491.25 (32032.16 – 459.09)	116935.79 (116149.32 – 117722.26)
Denacast	15.41 (19.58 – 21.24)	71.42 (71.11 – 71.73)	69.93 (69.62 – 70.24)	32391.15 (31985.53 – 32796.77)	31873.56 (31478.00 – 395.56)	217567.43 (215776.75 – 219358.11)
	1.77 (0.94 – 2.60)	93.16 (93.05 – 93.27)	7.87 (7.80 – 7.94)	40558.98 (39926.25 – 41191.71)	42821.36 (42236.93 – 584.43)	157364.71 (156138.00 – 158591.42)
Denacast	17.58 (21.72 – 23.44)	68.15 (67.74 – 68.56)	68.15 (67.79 – 68.51)	39848.08 (39300.61 – 40395.55)	38449.35 (37861.28 – 588.07)	286721.13 (284008.35 – 289433.91)
	1.20 (0.35 – 2.05)	92.38 (92.27 – 92.49)	7.52 (7.45 – 7.59)	255.74 (251.75 – 259.73)	251.31 (246.73 – 4.58)	988.12 (979.79 – 996.45)
Denacast	2.71 (6.80 – 8.62)	70.66 (70.25 – 71.07)	67.60 (67.21 – 67.99)	281.11 (276.94 – 285.28)	248.88 (244.89 – 3.99)	1869.09 (1848.65 – 1889.53)
	1.00 (0.18 – 1.82)	92.64 (92.53 – 92.75)	7.12 (7.06 – 7.18)	772.07 (763.75 – 780.39)	736.91 (727.11 – 9.80)	2967.48 (2947.59 – 2987.37)
Denacast	3.15 (11.29 – 13.01)	68.80 (68.48 – 69.12)	71.92 (71.63 – 72.21)	762.70 (753.36 – 772.04)	761.70 (752.37 – 9.33)	5639.91 (5590.83 – 5688.99)
	1.37 (0.44 – 2.30)	93.12 (92.95 – 93.29)	6.86 (6.76 – 6.96)	7186.59 (6992.27 – 7380.91)	8454.48 (8285.38 – 169.10)	30011.68 (29664.55 – 30358.81)
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
Denacast	13.17 (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)
GMTP 16	1.06 (0.11 – 2.01)	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)
Denacast	12.05 (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)
GMTP 17	1.01 (0.15 – 1.87)	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)
Denacast	12.36 (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)
GMTP 18	1.18 (0.52 – 1.84)	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)
Denacast	13.77 (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
GMTP 1 CCN-TV	2.18 (1.37 – 2.99)	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)
	3.41 (2.79 – 4.03)	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)
GMTP 2 CCN-TV	2.20 (1.34 – 3.06)	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)
	3.33 (2.48 – 4.18)	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)
GMTP 3 CCN-TV	2.07 (1.14 – 3.00)	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)
	4.36 (3.36 – 5.36)	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)
GMTP 4 CCN-TV	2.10 (1.18 – 3.02)	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)
	5.98 (4.87 – 7.09)	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)
GMTP 5	2.25 (1.42 – 3.08)	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
CCN-TV	7.02 (6.22 – 7.82)	84.01 (83.88 – 84.14)	20.72 (20.68 – 20.76)	33762.81 (33306.85 – 34218.77)	27458.53 (27043.12 – 415.41)	549238.37 (541107.73 – 557369.01)
GMTP 6 CCN-TV	2.81 (1.36 – 3.26)	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)
	9.23 (8.18 – 10.28)	83.22 (83.03 – 83.41)	20.77 (20.70 – 20.84)	40879.35 (39926.67 – 41832.03)	39362.78 (38422.53 – 940.25)	674362.37 (657848.18 – 690876.56)
GMTP 7 CCN-TV	1.83 (1.48 – 3.18)	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)
	3.90 (3.33 – 4.47)	83.74 (83.62 – 83.86)	20.45 (20.41 – 20.49)	214.56 (210.91 – 218.21)	235.53 (231.91 – 3.62)	4570.20 (4508.93 – 4631.47)
GMTP 8 CCN-TV	1.55 (1.24 – 2.86)	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)
	4.77 (4.16 – 5.38)	83.30 (83.16 – 83.44)	20.33 (20.29 – 20.37)	792.60 (781.07 – 804.13)	773.43 (762.19 – 11.24)	14228.89 (14033.99 – 14423.79)
GMTP 9 CCN-TV	1.61 (1.27 – 2.95)	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)
	5.86 (4.98 – 6.74)	82.97 (82.81 – 83.13)	20.36 (20.32 – 20.40)	7458.06 (7330.74 – 7585.38)	7158.07 (7053.77 – 104.30)	138290.07 (136192.79 – 140387.35)
GMTP 10	1.62 (1.27 – 2.97)	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

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
CCN-TV	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)
GMTP 16 CCN-TV	1.06 (0.11 – 2.01)	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)
	5.37 (4.56 – 6.18)	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)
GMTP 17 CCN-TV	1.01 (0.15 – 1.87)	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)
	3.90 (2.99 – 4.81)	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)
GMTP 18 CCN-TV	1.18 (0.52 – 1.84)	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)
	4.24 (3.32 – 5.16)	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)