

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

ALEX JUNIOR FIGUEIREDO TORRES

**MÉTODO PARA MELHORIA DA QUALIDADE NA TRANSMISSÃO
DE VÍDEOS SOBRE O PROTOCOLO SCTP**

CURITIBA

2014

ALEX JUNIOR FIGUEIREDO TORRES

**MÉTODO PARA MELHORIA DA QUALIDADE NA TRANSMISSÃO
DE VÍDEOS SOBRE O PROTOCOLO SCTP**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica, Área de Concentração Telecomunicações, Departamento de Engenharia Elétrica, Setor de Tecnologia, Universidade Federal do Paraná, como parte das exigências para obtenção do título de Mestre em Engenharia Elétrica.

Orientador: Prof. Dr. Eduardo Parente Ribeiro

Co-orientador: Prof. Dr. Carlos Marcelo Pedroso

CURITIBA

2014

TERMO DE APROVAÇÃO

ALEX JUNIOR FIGUEIREDO TORRES

MÉTODO PARA MELHORIA DA QUALIDADE NA TRANSMISSÃO DE
VÍDEOS SOBRE O PROTOCOLO SCTP

Dissertação aprovada como requisito parcial à obtenção do grau de Mestre no Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica da Universidade Federal do Paraná, pela seguinte banca examinadora:

Orientador: Prof. Dr. Eduardo Parente Ribeiro
Departamento de Engenharia Elétrica, UFPR

Prof. Dr. Evelio Martín García Fernández
Departamento de Engenharia Elétrica, UFPR

Prof. Dr. Luis Henrique Assumpção Lolis
Departamento de Engenharia Elétrica, UFPR

Prof(a). Dr. Anelise Munaretto Fonseca
CPGEI, UTFPR

Curitiba, 30 de abril de 2014

AGRADECIMENTOS

Primeiramente agradeço a Deus por tudo que me proporciona, pela dádiva de aprender em diversas áreas e por agir de maneira singela, que ao longo do tempo fica de fácil interpretação.

A minha família, que é responsável por grande parte que do que sou e do que posso me tornar.

Obrigado aos Professores: Dr. Arileide Cristina Alves, Dr. Nestor Saavedra Sobrinho, Me. Roberto Selow e Me. Sérgio Veiga pela confiança que depositaram ao me indicar ao programa da pós graduação da Universidade Federal do Paraná.

Agradeço a oportunidade cedida pelo Prof. Dr. Eduardo Parente Ribeiro de ser meu orientador.

Agradeço a Prof. Dr. Carlos Marcelo Pedroso, pela sua didática e calma na explicação assim sendo possível desenvolver um bom trabalho que se tornou essa dissertação.

Aos amigos: Jefferson Antonio Trevisan por auxiliar minha forma de interpretação em aspectos técnicos e pessoais. Vithor Nypwipwy exemplo de dedicação e perseverança mesmo a 4000Km de sua família. Joed Lopes da Silva pela parceria e por exemplos de humildade, que me parece ser o melhor caminho a seguir.

RESUMO

A transmissão de vídeo é uma das aplicações mais importantes da rede IP na atualidade. O crescimento da demanda pela transmissão com maior resolução e qualidade pressiona a criação de técnicas de transmissão capazes de entregar a melhor qualidade de experiência possível para os usuários. O protocolo SCTP foi proposto como alternativa para os protocolos de camada de transporte em uso, apresentando a capacidade de suportar a transmissão multicaminhos. Nesta dissertação, é proposto o uso de uma nova estratégia de troca de caminho utilizando a tendência do atraso fim a fim como critério, com o objetivo de preservar a qualidade do vídeo transmitido sobre a rede IP. O desempenho do sistema é analisado utilizando simulações computacionais e os resultados indicam que o uso do método proposto resulta em menor degradação da qualidade de vídeo quando ocorre variação na latência fim a fim.

Palavras-chave: Multi-abrigado. Latência. MACD.

ABSTRACT

Video transmission is one of the most important applications of IP network nowadays. The growth in demand for video transmission with higher resolution and quality pushes the creation of techniques to deliver the best possible quality of experience to users. The SCTP has been proposed as an alternative to transport layer protocols in use, with the ability to support multipath transmission. In this dissertation, we propose the use of a new handover strategy using the path end-to-end delay as a criterion. This strategy is designed to preserve the quality of video transmitted using IP networks. The system performance is analyzed through computer simulations and the results show that the use of proposed method prevents degradation of video quality.

Key words: Multi-homing. Latency. MACD.

LISTA DE FIGURAS

2.1	Algoritmo proposto por (KELLY et al., 2004) com histerese (GAVRILOFF; RIBEIRO, 2008) para detecção de caminho por latência, <i>delay-centric</i>	23
2.2	GOP e distribuição de quadros Is, Bs e Ps. Ref: (SUHAIL; SUBBER, 2012)	25
3.1	Função de autocorrelação (ACF) dos RTTs das redes ADSL, 3G e <i>WiFi</i>	36
3.2	Médias móveis de dois caminhos ativos, 3G-WIFI, com escolha de caminho primário utilizando método <i>PDC</i>	37
3.3	Algoritmo proposto para detecção de caminho por tendência, <i>PDC</i> . . .	39
3.4	Topologia de rede multi-abrigada	40
3.5	Fluxograma dos testes	42
4.1	PSNR médio obtido na transmissão simulada dos vídeos em função do GOP utilizado na codificação.	49
4.2	SSIM médio obtido na transmissão simulada dos vídeos em função do GOP utilizado na codificação.	50

LISTA DE TABELAS

2.1	Imagem de Filmes utilizados	25
2.2	Imagem de Fragmentos de Filmes utilizados	26
2.3	Características dos vídeos utilizados.	26
2.4	Mapeamento entre valores do PSNR, SSIM e MOS. Compilado de (KLAUE; RATHKE; WOLISZ, 2003) e (WANG et al., 2004)	28
3.1	Qualidade na transmissão vídeo jurassic usando método SSIM WIFlx- CABO, com 20 amostras e confiança de 95%	45
4.1	Avaliação das mudanças de caminho apenas com latência, CABOx3G com 95% de confiança e 30 amostras.	51
4.2	Avaliação de perdas nos caminhos apenas com latência, CABOx3G com 95% de confiança e 30 amostras.	51
4.3	Avaliação da quantidade de trocas nos caminhos WIFlx3G apenas com latência, com 30 amostras e 95% de confiança.	52
4.4	Avaliação de perdas nos caminhos WIFlx3G apenas com latência, com 30 amostras e 95% de confiança.	52
4.5	Avaliação da quantidade de trocas nos caminhos WIFlxCABO apenas com latência, com 30 amostras e 95% de confiança.	53
4.6	Avaliação da perdas nos caminhos WIFlxCABO apenas com latência, com 30 amostras e 95% de confiança.	53
4.7	Avaliação da qualidade SSIM na transmissão dos vídeo Jurassic, 22 amostras e 95% de confiança.	53
4.8	Avaliação da qualidade PSNR na transmissão dos vídeo Jurassic, 22 amostras e 95% de confiança.	54
4.9	Avaliação da qualidade SSIM na transmissão dos vídeo <i>Silence</i> , com 50 amostras e 95% de confiança.	54
4.10	Avaliação da qualidade PSNR na transmissão dos vídeo <i>Silence</i> , com 50 amostras e 95% de confiança.	55
4.11	Avaliação da qualidade SSIM na transmissão dos vídeo <i>Star Wars</i> alta movimentação, com 30 amostras e 95% de confiança.	55
4.12	Avaliação da qualidade PSNR na transmissão dos vídeo <i>Star Wars</i> alta movimentação, com 30 amostras e 95% de confiança.	55
4.13	Avaliação da qualidade SSIM na transmissão dos vídeo <i>Star Wars</i> baixa movimentação, com 50 amostras e 95% de confiança.	56

4.14	Avaliação da qualidade PSNR na transmissão dos vídeo <i>Star Wars</i> baixa movimentação, com 50 amostras e 95% de confiança.	56
4.15	Avaliação da qualidade SSIM na transmissão dos vídeo <i>Star Wars</i> movimentação moderada, com 30 amostras e 95% de confiança.	57
4.16	Avaliação da qualidade PSNR na transmissão dos vídeo <i>Star Wars</i> movimentação moderada, com 30 amostras e 95% de confiança.	57
4.17	Avaliação da qualidade SSIM na transmissão dos vídeo Akiyo, com 50 amostras e 95% de confiança. (ASU, 2013)	58
4.18	Avaliação da qualidade PSNR na transmissão dos vídeo Akiyo, com 50 amostras e 95% de confiança. (ASU, 2013)	58
4.19	Avaliação da qualidade SSIM na transmissão dos vídeo Paris, com 20 amostras e 95% de confiança. (ASU, 2013)	59
4.20	Avaliação da qualidade PSNR na transmissão dos vídeo Paris, com 20 amostras e 95% de confiança. (ASU, 2013)	59
4.21	Avaliação da qualidade SSIM na transmissão dos vídeo <i>highway</i> , com 40 simulações e 95% de confiança.(ASU, 2013)	59
4.22	Avaliação da qualidade PSNR na transmissão dos vídeo <i>highway</i> , com 40 simulações e 95% de confiança.(ASU, 2013)	60
4.23	Avaliação da qualidade SSIM na transmissão dos vídeo <i>highway-footbridge-1</i> , com 20 simulações e 95% de confiança. (UFPR, 2013)	60
4.24	Avaliação da qualidade PSNR na transmissão dos vídeo <i>highway-footbridge-1</i> , com 20 simulações e 95% de confiança. (UFPR, 2013)	60
4.25	Avaliação da qualidade SSIM na transmissão dos vídeo <i>football</i> , com 40 simulações e 95% de confiança. (ASU, 2013)	61
4.26	Avaliação da qualidade PSNR na transmissão dos vídeo <i>football</i> , com 40 simulações e 95% de confiança. (ASU, 2013)	61

LISTA DE SIGLAS

SCTP	<i>Stream Control Transmission Protocol</i>
PR-SCTP	<i>Partial Reliability Stream Control Transmission Protocol</i>
TCP	<i>Transmission Control Protocol</i>
UDP	<i>User Datagram Protocol</i>
IPTV	<i>Television over IP</i>
RTP	<i>Real Time Protocol</i>
bps	<i>Bit per Second</i>
Mbps	<i>Megabit per Second</i>
fps	<i>Frames per Second</i>
$SRTT_S$	Suavização rápida de um caminho
$SRTT_L$	Suavização lenta de um caminho
PSNR	<i>Peak Signal-to-Noise Ratio</i>
SSIM	<i>Structural Similarity</i>
MPEG	<i>Moving Picture Experts Group</i>
ITU	<i>International Telecommunication Union</i>
ADSL	<i>Asymmetric Digital Subscriber Line</i>
MOS	<i>Mean Opinion Score</i>
QoE	<i>Quality of Experience</i>
RTT	<i>Round Trip Time</i>
IP	<i>Internet Protocol</i>
FCC	<i>Federal Communication Commission</i>
IETF	<i>Internet Engineering Task Force</i>
RDC	<i>Reactive Delay Centric</i>
RDC	<i>Predictive Delay Centric</i>
PMR	<i>Path Max retransmission</i>

EMA	<i>Exponential Moving Average</i>
MACD	<i>Moving Average Convergence/Divergence</i>
RTO	<i>Retransmission Timeout</i>
ISO	<i>International Organization for Standardization</i>
GOP	<i>Group of Picture</i>
ECHO	<i>Endpoint Centric Handover</i>
WISE	<i>Wireless SCTP Extension</i>

LISTA DE SÍMBOLOS

δ	Número randômico que pode assumir valores entre -0,5 à 0,5
α	Valor de significância da distribuição <i>t</i> Student
<i>HB_interval</i>	Intervalo do <i>Hearbeat</i>
γ	Fator de atraso máximo em um caminho, para o método MACD

SUMÁRIO

RESUMO	5
ABSTRACT	6
LISTA DE ILUSTRAÇÕES	7
LISTA DE TABELAS	9
1 INTRODUÇÃO	13
1.1 Contexto	13
1.2 Objetivos	16
1.3 Justificativa	17
1.4 Estrutura da dissertação	18
2 CONCEITOS BÁSICOS	19
2.1 Protocolo SCTP	19
2.1.1 Troca de caminho padrão	20
2.1.2 Pacotes de pulsação	21
2.2 Comutação de caminho baseado em atraso reativo (RDC)	22
2.3 Video Streaming e MPEG4	22
2.3.1 MPEG-4	24
2.4 Avaliação da Qualidade	26

2.4.1	MOS	26
2.4.2	PSNR e SSIM	27
2.4.3	PSNR	28
2.4.4	SSIM	29
2.5	Trabalhos relacionados	32
3	MÉTODO PROPOSTO	35
3.1	Método de seleção de caminho baseado no <i>PDC</i>	35
3.2	Metodologia	38
3.3	Aquisição de latência real	41
3.4	Transmissão dos vídeos	41
3.5	Avaliação de qualidade	43
3.6	Teste <i>t</i> para duas Amostras Pareadas	44
4	ANÁLISE DOS RESULTADOS E DISCUSSÃO	48
4.1	Avaliação de latência nos 3 cenários sem vídeo	50
4.2	Comparação de qualidade de vídeos entre os métodos	52
5	CONCLUSÕES E TRABALHOS FUTUROS	63

CAPÍTULO 1

INTRODUÇÃO

1.1 Contexto

Com a evolução da tecnologia na transmissão de dados, a disseminação de informação, e o aumento conjunto dos meios de acesso a internet como ADSL, WiFi, 3G, 4G e WiMax, houve aumento de oferta e procura de serviços de vídeo sob demanda. O aumento na demanda exerce uma grande pressão sobre os servidores de vídeo e Internet, que devem manter a qualidade dos serviços prestados. Isso motivou o estudo de formas de melhorar a comunicação de dados que necessitam alta fidelidade na entrega, ou seja um curto tempo para entrega ao usuário final. Aplicações típicas são IPTV (*Internet Protocol Television*), vídeo-conferência e vídeo sob demanda.

Um dos fatores fundamentais que afetam a qualidade da transmissão de vídeo sobre a rede IP é a latência (FCC, 2013). Latência é definida como o intervalo de tempo entre o envio do pacote pela fonte e o recebimento do mesmo pelo destino. É muitas vezes chamadas de "tempo de ping", em referência ao programa que realiza a requisição de dados ponto-a-ponto entre um cliente e um servidor. Na prática medida realizada é denominada RTT (*Round Trip Time*), visto que essa é a medida em tempo ou atraso, de ida e volta entre cliente e servidor. Normalmente se supõe que a latência fim a fim equivale a metade do tempo de ida e volta, o que pode não ser verdade em determinadas condições.

Altas latências podem comprometer os serviços de voz e vídeo, incluindo os sistemas IPTV. O *jitter* que é a variação do atraso entre os pacotes sucessivos de dados (CHEN et al., 2011), também é um dos fatores fundamentais que impactam na qualidade de tais sistemas (MAISONNEUVE et al., 2009). De acordo com (DSL-FORUM,

2006), o atraso e o *jitter* devem ser menores que 200ms e 50ms, respectivamente, para garantir uma boa qualidade de experiência à transmissão de vídeos codificados com MPEG4.

A latência afeta a qualidade do serviço para transmissões de vídeo e voz independentemente da taxa. Nas comunicações interativas encontradas em aplicações de computadores seu efeito é mais fortemente percebido. O efeito da latência é aditivo, o que significa que a demora causada pela soma de um conjunto de latências aumenta o tempo que leva para completar um processo de computação ou remontagem do vídeo transmitido. Assim, a latência pode ter um efeito significativo sobre o desempenho dos aplicativos em execução. Com o aumento da velocidade de serviço, o impacto da latência da rede pode se tornar mais visível, e têm um impacto mais significativo, no sentido de depreciar a qualidade de vídeos transmitidos, sobre o desempenho global (FCC, 2013).

Em função do aumento da diversidade dos meios de acesso à Internet surgiu a possibilidade de incorporar múltiplas interfaces de rede em um único dispositivo. Um sistema é multi-abrigado quando ele possui mais de uma interface de rede, física ou lógica, disponível para comunicação (WALLACE; SHAMI, 2012). Através de mecanismos de monitoramento e de troca de caminhos, é possível aumentar a resiliência e estabilidade de uma conexão, garantindo a continuidade dos serviços mesmo no caso do caminho principal se tornar indisponível.

Os protocolos de camada de transporte mais utilizados atualmente são o TCP (*Transmission Control Protocol*) e o UDP (*User Datagram Protocol*), sendo que o UDP é aplicado na transferência de vídeo e aplicações de tempo real. O protocolo SCTP (*Stream Control Transmission Protocol*) foi especificado pelo IETF (*Internet Engineering Task Force*) na RFC4960 (STEWART, 2007). O SCTP pode ser configurado com as mesmas características de segurança na entrega dos dados do TCP, assim como para aplicações sem retransmissão como UDP, o que implica em uma maior facilidade na aplicação desse protocolo em redes IP devido à compatibilidade entre os

protocolos mais utilizados. O SCTP possui como principais características o suporte a sistemas multi-abrigados e a transmissão por múltiplos fluxos (*multistreaming*). Um sistema multi-abrigado é capaz de utilizar vários caminhos disponíveis, por exemplo, para melhorar a resiliência da rede do ponto de vista da aplicação. O SCTP utiliza apenas um caminho para transmissão e deixa os demais em redundância, principalmente para a retransmissão de pacotes, ou para *backup* em caso de falha do caminho principal. No entanto, os múltiplos caminhos também podem ser explorados para obter uma melhor qualidade para aplicações.

Nesta dissertação, utilizou-se o protocolo SCTP aliado à estratégias *delay-centric* para a transmissão de vídeo, com o objetivo de preservar ao máximo a qualidade de experiência do usuário. Os métodos que utilizam o atraso fim a fim como critério de seleção de caminho primário são chamados de *delay-centric* (KELLY et al., 2004; KASHIHARA et al., 2004). Esse tipo de mecanismo já foi aplicado anteriormente para obter melhor qualidade na transmissão de voz, por exemplo por (FITZPATRICK; MURPHY; MURPHY, 2006), (GAVRILOFF; RIBEIRO, 2008) e (RüNCOS, 2011).

Denominamos esta estratégia de reativa, ou *reactive delay-centric* (RDC), pois é necessário que o atraso real ocorra para ser tomada uma decisão de troca entre caminhos. Embora estas investigações tenham sido realizadas, o uso de estratégias de seleção de caminho baseadas em latência para melhorar o desempenho da transmissão de vídeo em tempo real tem sido pouco explorado.

Uma outra forma de promover a melhora na qualidade de transmissão de vídeo em redes IP, seria a utilização do SCTP com confiabilidade parcial ou PR-SCTP (*Partial Reliability Stream Control Transmission Protocol*) (PR-SCTP... , 2004). (SANSON et al., 2010) propõe retransmissões com *frames* I, *frame* com maior quantidade de informação da imagem, em intervalos de tempo compatíveis com a aplicação de vídeo, caso haja tempo suficiente. Trata-se de uma tentativa de melhorar a qualidade na transmissão sem ter um grande volume de dados sendo retransmitidos. Esta abordagem considera apenas um único caminho e não tira proveito das transmissões por

múltiplos caminhos.

Essa dissertação propõe a transmissão pelo caminho de menor atraso a partir do monitoramento da latência e da sua tendência. O método proposto para estimativa da tendência é o MACD (*Moving Average Convergence Divergence*) (KLINKER, 2011). O MACD é um método bastante utilizado para previsão de comportamento de séries temporais na área financeira (MARQUES et al., 2010). O uso do MACD para troca de caminho na transmissão de aplicações de vídeo sobre o SCTP pode beneficiar a qualidade da experiência por permitir a troca de caminho antes que o aumento do atraso de propagação impacte negativamente na reprodução do vídeo. Trata-se de um método preditivo, pois realiza a previsão do aumento da latência, com isso faz a troca de caminho antes que o aumento real da latência ocorra. Assim sendo quando for mencionado o método MACD de seleção de caminho será utilizado o termo *PDC Predictive Delay-Centric*.

1.2 Objetivos

O objetivo geral da dissertação é desenvolver um método para seleção de caminho para sistemas multi-abrigados com o protocolo SCTP de modo a melhorar a QoE para aplicações de vídeo.

Os objetivos específicos são:

Proposta de método de seleção de caminho baseado na latência utilizando o método *PDC Predictive Delay-Centric*, com previsão de tendências de aumento de latência para melhorar a estabilidade e desempenho, com adaptação dos parâmetros de vídeo *streaming*.

Realização de testes e comparação da proposta com os métodos existentes fazendo a avaliação de qualidade de experiência (*QoE*) com vídeos MPEG4 parte 10 (MARPE; WIEGAND; SULLIVAN, 2006).

1.3 Justificativa

A proposta original de seleção de caminho do protocolo SCTP considera apenas a perda de pacotes (STEWART, 2007). A extensão PR-SCTP, permite fazer retransmissões programadas dos pacotes. Foi demonstrado em (XU et al., 2009), que a versão PR-SCTP em conjunto com ajustes de PMR promove a melhora da qualidade na transmissão de vídeos MPEG4 em uma topologia multi-abrigada com perdas variáveis, embora as perdas apresentadas sejam altas mesmo para redes sem fio, (HASSLINGER; HOHLFELD, 2008). Esses métodos apresentaram bons resultados na qualidade da transmissão de vídeo, mas se um caminho estiver com atraso muito alto, a retransmissão pode não ajudar a obter a melhor a qualidade em aplicações de tempo real, vídeo conferencias ou IPTV (*Internet Protocol Television*). Aplicações de vídeo em tempo real, como IPTV, são muito sensíveis ao atraso (FCC 2013), de forma que um método de seleção de caminho baseado no atraso pode beneficiar a QoE de sistemas de vídeo *streaming*. Existem alguns métodos para mudança de caminho baseado em latência na literatura (KELLY et al., 2004) (KASHIHARA et al., 2004) e (YAN et al., 2011), mas foram avaliados somente para a transmissão de voz ou o *throughput* da rede. A avaliação da qualidade transmitida em aplicações IPTV não foi realizada em sistemas multi-abrigados com métodos de seleção de caminho baseado em latência.

Nessa dissertação foi proposto um novo método para melhorar a qualidade na transmissão de vídeo. Este método foi comparado com o método RDC já existente na literatura. A avaliação de desempenho entre os métodos foi realizada utilizando dados de latência obtidos em redes de acesso reais, com a transmissão de vídeos em diversos cenários. Foram realizados testes utilizando as tecnologias de acesso Wifi/Ethernet, ADSL e 3G. Para aferição da qualidade na transmissão de vídeo foram usados métodos objetivos para avaliação do MOS que podem ser implementados computacionalmente. Para a avaliação de vídeo foi utilizado o PSNR (Peak Signal Noise Ratio) e o SSIM (Structural Similarity). Com o MOS, PSNR e SSIM pode ser feita avaliação de QoE (Quality of Experience) dos vídeos transmitidos (FORUM, 2006).

1.4 Estrutura da dissertação

Esta dissertação está organizada da seguinte forma. O capítulo 2 apresenta os conceitos básicos do SCTP, o padrão de compressão de vídeo e formas de avaliação da qualidade da transmissão,

O método proposto é apresentado no capítulo 3, assim como a metodologia utilizada para a realização dos testes. No capítulo 4 é feita a análise dos resultados obtidos e por fim o capítulo 5 apresenta as conclusões e trabalhos futuros.

CAPÍTULO 2

CONCEITOS BÁSICOS

2.1 Protocolo SCTP

O SCTP é um protocolo de transporte orientado a conexão assim como o TCP. A motivação para o desenvolvimento de um novo protocolo veio da necessidade de um protocolo mais apropriado do que o TCP para aplicações em telefonia.

Assim como o TCP, o SCTP apresenta controle de congestionamento e permite a entrega confiável de dados. Além disso, ele permite transmissão ordenada ou não ordenada de dados, fornece serviços de fluxos múltiplos e, devido à extensões (STEWART R., 2006), permite também entrega não confiável de dados, semelhante ao UDP, ou mesmo com confiabilidade parcial.

Uma conexão SCTP entre dois terminais é denominada de associação. Uma mesma associação SCTP permite o uso de mais de um endereço IP para comunicação, o que significa a possibilidade do uso de mais de um caminho para comunicação.

Ou seja, o SCTP fornece suporte para associações multi-abrigadas. Essa capacidade do SCTP é o que torna este protocolo uma alternativa para a implementação de sistemas automáticos de troca de caminhos. Além disso, ele tem por padrão implementado um mecanismo que realiza a troca de rotas quando ocorrem perdas de segmentos, de forma a aumentar a resiliência da associação (STEWART, 2007).

2.1.1 Troca de caminho padrão

O padrão do mecanismo de troca de caminho no SCTP utiliza apenas a perda de pacotes como critério para mudança de caminho. Normalmente o protocolo utiliza um dos caminhos disponíveis para transmissão de dados. O caminho em uso em um dado instante é chamado de caminho primário. Uma mensagem periódica de pulsação (ou *heartbeat*) é enviada em todos os caminhos secundários. Um caminho é marcado como ativo depois que existe uma resposta do endereço requisitado. Caso não haja resposta de um determinado endereço, uma transmissão é realizada. Após o número máximo de retransmissões sem resposta (path maximum retransmission - PMR), cujo valor padrão é 5, o caminho é marcado como inativo. As mensagens de *heartbeat* podem ser enviadas em intervalo mínimo de tempo configurável, sendo 30 segundos a configuração padrão.

O SCTP detecta perdas de pacotes monitorando a latência de ida e volta instantânea (RTT, *Round Trip Time*), que é obtida pela diferença de tempo entre a transmissão da mensagem e o recebimento da confirmação de chegada no caminho primário e pelas mensagens nos caminhos secundários.

Para evitar conclusões incorretas com variações bruscas do RTT, é calculado o SRTT (*Smoothed Round Trip Time*), utilizando uma média móvel exponencial (EMA, *Exponential Moving Averages*) definido pela Equação 2.1.

$$\text{SRTT}_i = (1 - \alpha)\text{SRTT}_{i-1} + \alpha\text{RTT}_i, \quad (2.1)$$

onde tipicamente $\alpha = 1/8$.

A medida da variância do RTT, chamada RTTVAR, é realizada de acordo com:

$$\text{RTTVAR}_i = (1 - \beta)\text{RTTVAR}_{i-1} + \beta|\text{SRTT}_i - \text{RTT}_i|, \quad (2.2)$$

onde tipicamente $\beta = 1/4$.

O protocolo SCTP detecta perdas utilizando um temporizador, chamado RTO (*Retransmission Timeout*). Caso a confirmação da transmissão da mensagem não seja recebida dentro deste tempo limite, ela será considerada perdida. O RTO é calculado como:

$$RTO = SRTT + 4(RTTVAR). \quad (2.3)$$

Quando uma perda é detectada, um contador é incrementado. A variável PMR (*Path Maximum Retransmission*) representa o número máximo de perdas toleradas pelo SCTP. Caso o número de perdas ultrapasse o PMR, um novo caminho será escolhido como primário. O SCTP utiliza como padrão PMR=5. No entanto, para concluir sobre a inatividade do caminho primário é necessário um tempo da ordem de 60 a 360 segundos. Isto é inviável para aplicações de vídeo e interatividade (WALLACE; SHAMI, 2012).

2.1.2 Pacotes de pulsação

Todos os caminhos secundários de uma associação são monitorados periodicamente. Isto permite a medição do RTT para cada um dos caminhos e a determinação de quais podem se tornar caminhos ativos em caso de falha do caminho primário.

O intervalo de tempo entre as transmissões de *heartbeat* (STEWART, 2007) é definido como H_i .

$$H_i = RTO(1 + \delta) + HB.interval; \quad (2.4)$$

onde RTO é o ultimo valor calculado pela equação 2.3 (eventualmente duplicado de-

vido ao *backoff exponential* em caso de retransmissão), δ é um valor randômico entre -0.5 e 0.5 para introduzir uma variação de 50% do valor do RTO e *HB.interval* é o intervalo mínimo de *heartbeat*, cujo valor padrão é 30 s, mas pode ser definido pela aplicação.

2.2 Comutação de caminho baseado em atraso reativo (RDC)

O método *delay-centric* foi proposto originalmente por (KELLY et al., 2004), e foi desenvolvido para melhorar o desempenho na transmissão de dados sensíveis ao atraso na rede. Seu funcionamento se baseia no monitoramento do atraso apresentado pelos caminhos ativos da associação e na troca automática para o caminho que apresente uma menor latência real. Dessa forma o *delay-centric* altera o caminho primário para a rota que apresentar menor atraso. O monitoramento do atraso é feito pela identificação do SRTT (*Smoothed Round Trip Time*) dos diferentes caminhos. O valor do SRTT é calculado e fornecido pelo SCTP de acordo com 2.1.

Caminhos que apresentem um menor SRTT são redefinidos como primários. Como o método proposto por (KELLY et al., 2004) distingue entre aumento de latências reais, ou seja, a latência tem que realmente ocorrer para realizar uma troca de caminho, o termo *RDC* (*Reactive Delay-Centric*) será usado para referênciá-lo. O algoritmo para troca de caminho está ilustrado na Figura 2.1, considerando-se fatores de histerese como avaliados (GAVRILOFF; RIBEIRO, 2008).

2.3 Video Streaming e MPEG4

Video Streaming é o processo de entrega de vídeo em tempo real para usuários de serviços de mídia iterativa ou IPTV. Aplicações de vídeo *streaming* ganharam grande popularidade entre os usuários, mas exerceram uma grande pressão sobre os servidores de vídeo e internet (ZHANG; HASSANEIN, 2012). A característica que define

```

real  $\alpha = \frac{1}{8} = 0.125$  ; // parâmetro para SRTT
inteiro  $n$  ; // numero total de caminhos ativos
real  $RTT [1..n]$  ; // RTT de cada caminho
real  $SRTT [1..n]$  ; // SRTT
inteiro  $p$  ; // indica o caminho primário
 $h \leftarrow 0, 10, 20, \text{ou } 30ms$  ; // Histerese para troca entre os caminhos
 $p \leftarrow 1$  ; // primeiro caminho principal
for  $i \leftarrow 1$  to  $n$  do
    ; // para cada caminho  $i$ 
     $read(RTT)/2$  ; // atualiza a metade do valor do RTT
    if ( $SRTT[i] == 0$ ) then
        |  $SRTT[i] = RTT[i]$  ; // inicializa SRTT caso ainda não exista
    end
     $SRTT[i] = (1 - \alpha).SRTT[i] + \alpha.RTT[i]$  ; // atualiza SRTT
    ; // Teste para mudança de caminho
    if ( $p \neq i$ ) e ( $SRTT[p] > SRTT[i] + h$ ) then
        |  $p = i$  ; // muda de caminho
    end
end

```

Figura 2.1: Algoritmo proposto por (KELLY et al., 2004) com histerese (GAVRILOFF; RIBEIRO, 2008) para detecção de caminho por latência, *delay-centric*.

o vídeo *streaming* é que o vídeo esta sendo reproduzido sem bufferização significativa. Vídeo *streaming* podem ser classificados em fluxo sob-demanda e transmissão ao vivo. Em aplicativos sob-demanda, o usuário tem um video em seu próprio ritmo e pode procurar novas posições durante a reprodução. Um usuário pode baixar o video a uma taxa maior do que a taxa de reprodução. Em aplicações de *streaming* ao vivo, todos os usuários têm um vídeo em sincronia aproximada com a fonte de vídeo. O objetivo básico dos sistemas de vídeo ao vivo é distribuir pacotes da fonte de video para todos os usuários antes do prazo de reprodução de cada pacote. Alguns aplicativos, como videoconferência, requerem um atraso de reprodução dentro de centenas de milissegundos ((ZHANG; HASSANEIN, 2012).

2.3.1 MPEG-4

O MPEG (*Moving Picture Experts Group*) foi desenvolvido pela ISO (*International Organization for Standardization*) para manter padrões para a compressão e transmissão de áudio e vídeo. O primeiro padrão desenvolvido pela ISO, o MPEG-1, foi utilizado para compressão de vídeo e áudio para CDs (*Compact Disc*). A sua segunda versão, o MPEG-2, foi utilizado para armazenamento e transmissão em *broadcast* de áudio e vídeo em transmissões com qualidade para televisor. O MPEG-4 é uma versão mais atual, e foi utilizada neste trabalho. O MPEG-4 parte 10 está especificado na norma ISO/IEC 14496 (ITU-T, 2004), atualmente é muito utilizado em sistemas de transmissão de vídeo por IP (WIEGAND; NOBLET; ROVATI, 2009). Por este motivo, os testes foram realizados com vídeos codificados com MPEG-4 parte 10.

A estrutura do MPEG-4 contém três tipos diferentes de quadros, nomeados I, P e B, como ilustra a Figura 2.2. Um arranjo regrado dessas imagens é denominado de GOP (*Group of Pictures*). Os quadros I (*intra-coded picture*) são codificados sem referência de outras imagens. A compressão é moderada, pois no quadro I apenas são retiradas as redundâncias espaciais. O quadro I é fundamental no sistema MPEG, pois ele serve de referência para todos os quadros pertencentes ao seu GOP. Os quadros P (*predictive-coded picture*) são comprimidos temporal e espacialmente. Essa compressão é realizada a partir da predição por compensação de movimento a partir de uma imagem I ou P passada. O quadro P é montado a partir de um quadro P ou I passado e serve de referência para um quadro P futuro. Os quadros B (*bidirectionally predictive-coded picture*) são codificados a partir da interpolação entre um quadro anterior (I ou P) e um quadro posterior I ou P. Um quadro P típico é menor que um quadro I. Em relação ao quadro B, o quadro P é geralmente maior (ZATT et al., 2010).

Para a simulação de envio de vídeos MPEG4, foi necessário fazer a seleção de vídeos onde a duração, movimentação, quantidade de cortes de cenas que fossem de vídeos de conhecimento da comunidade acadêmica. Na tabela 2.1, estão a imagem de filmes que foram realizados os testes iniciais. Os vídeos utilizados nos testes foram:

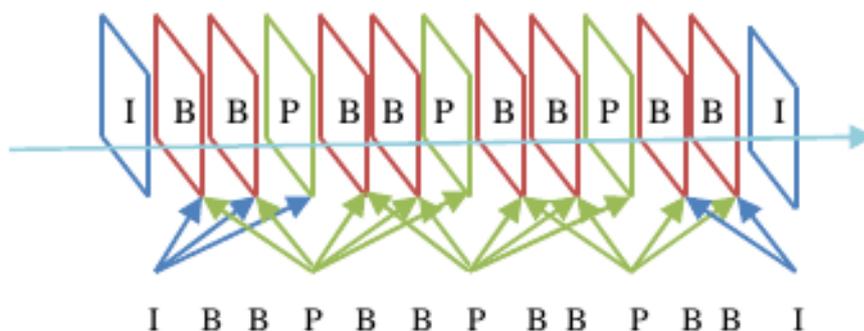


Figura 2.2: GOP e distribuição de quadros Is, Bs e Ps. Ref: (SUHAIL; SUBBER, 2012)

Akiyo (a), Highway (b), Football (c) e Paris (d), disponíveis publicamente em (ASU, 2013) com tempo total de 12, 80, 10 e 42 segundos, respectivamente.

Tabela 2.1: Imagem de Filmes utilizados



A taxa de geração de quadros foi de 25 fps e a geometria utilizada foi de 352x288 pixels. A taxa de transmissão média necessária para estes vídeos é da ordem de 1Mbps, o que permite o uso das tecnologias de rede de acesso em teste. Também foi utilizado um vídeo gerado no campus da Universidade Federal do Paraná, *highway-footbridge1* (e), disponibilizado publicamente em (UFPR, 2013), com geometria de 640x480 pixels e taxa de quadros de 30 fps, este vídeo possui duração total de 61 segundos.

A quantidade de vídeos que foram avaliados tem como motivação a movimentação nas cenas dos vídeos. Em uma cena onde existe grande movimentação também haverá maior quantidade de informação nos *frames* I, e isso impacta diretamente na qualidade do filme que esta sendo transmitido.

Também foram realizados testes com vídeos com tempo de duração maior, cerca de 120s, a fim de aumentar a confiança nos resultados. Os trechos utilizados apare-

cem na Tabela 2.2: *jurassic* (a) com movimentação moderada, *silence* (b) com baixa movimentação, *wars* (c) com alta movimentação, *wars 1* (d) com baixa movimentação e *wars 2* (e) com movimentação moderada de cenas.

Tabela 2.2: Imagem de Fragmentos de Filmes utilizados



A taxa de geração de quadros foi de 30 fps e a geometria utilizada foi de 352x288 pixels. Esses fragmentos de vídeos têm cortes de cenas a cada 30 segundos de vídeo, isso coloca a transmissão desses vídeos em uma condição mais real de acordo com vídeos atuais. As principais características dos vídeos e fragmentos de filmes utilizados, estão relacionados na tabela 2.3.

Tabela 2.3: Características dos vídeos utilizados.

	<i>Akiyo</i>	<i>Highway</i>	<i>Football</i>	<i>Paris</i>	<i>Jurassic</i>
Taxa Média (bps)	666K	2,573M	4,617M	2,255M	1,368M
f (fps)	25	25	25	25	30
Geometria	352x288	352x288	352x288	352x288	352x288
Codec	MPEG4.10	MPEG4.10	MPEG4.10	MPEG4.10	MPEG4.10
Tempo Total (segundos)	12,0	80,0	10,0	42,0	120,0
	<i>Silence</i>	<i>Wars</i>	<i>Wars_1</i>	<i>Wars_2</i>	<i>highway-footbridge1</i>
Taxa Média (bps)	665K	1,353M	370K	814K	4,238M
f (fps)	30	30	30	30	30
Geometria	352x288	352x288	352x288	352x288	640x480
Codec	MPEG4.10	MPEG4.10	MPEG4.10	MPEG4.10	MPEG4.10
Tempo Total (segundos)	120,0	120,0	120,0	120,0	61,56

2.4 Avaliação da Qualidade

2.4.1 MOS

Para obter o MOS (*Mean Opinion Score*), testes subjetivos são necessários onde os indivíduos estão envolvidos. Normalmente testes subjetivos consistem em várias etapas de seleção e metodologia de preparação de estímulos. Estímulos especiais com

diferentes tipos de distorção ou artefatos são gerados, que abrangem as características de cada pesquisa. Durante o teste subjetivo, um número de indivíduos são convidados a julgar a qualidade do vídeo reproduzido em um ambiente controlado. A qualidade do vídeo reproduzido deve ser especificada dentro da faixa de escalas de avaliação (XU et al., 2011). Após os testes subjetivos, as classificações são analisadas estatisticamente (WINKLER, 2009). É aplicado a verificação de normalidade para as classificações subjetivas com diferentes métodos. Além disso, tal como referido em (ITU, 2003), a seleção dos indivíduos é aplicada para remover avaliações inconsistentes. Finalmente valores MOS são calculados pela média de todas as classificações, exceto os valores atípicos.

Com isso temos um método de avaliação da qualidade de experiência (QoE, *Quality of Experience*) que é definida pelo ITU (*International Telecommunication Union*) como uma medida subjetiva com a impressão do usuário sobre a qualidade da imagem do vídeo sendo reproduzida, padronizado em (ITU-T, 2007a) e (ITU-T, 2007b). O resultado do teste é um número de 1 a 5 que indica a percepção de qualidade do avaliador, sendo 1 a pior qualidade e 5 a melhor.

2.4.2 PSNR e SSIM

Em contraste, a avaliação objetiva da qualidade do vídeo reproduzido é realizada através de ferramentas computacionais. Essa avaliação objetiva pode ser dividida em métodos referenciados, onde é possível comparar o vídeo original e o reproduzido, onde somente o vídeo reproduzido é analisado. Entre os métodos referenciados, se destacam duas abordagens: a avaliação da relação sinal-ruído de pico (PSNR) (SERRAL-GRACIA et al., 2010) e o índice de similaridade estrutural, SSIM (WANG et al., 2004) que foi desenvolvido com base no sistema psico visual humano.

A avaliação de qualidade do SSIM vem se mostrando superior à do PSNR (SILPA; MASTANI, 2012) em alguns aspectos. Nesta dissertação, serão empregados ambos

Tabela 2.4: Mapeamento entre valores do PSNR, SSIM e MOS. Compilado de (KLAUE; RATHKE; WOLISZ, 2003) e (WANG et al., 2004)

PSNR	SSIM	MOS	Significado
$PSNR > 37\text{dB}$	$SSIM > 0.995$	5	Excelente
$31\text{dB} < PSNR \leq 37\text{dB}$	$0.99375 < SSIM \leq 0.995$	4	Bom
$25\text{dB} < PSNR \leq 31\text{dB}$	$0.965 < SSIM \leq 0.99375$	3	Razoável
$20\text{dB} < PSNR \leq 25\text{dB}$	$0.875 < SSIM \leq 0.965$	2	Pobre
$PSNR \leq 20\text{dB}$	$SSIM \leq 0.875$	1	Ruim

os métodos. A avaliação foi realizada com a ferramenta EvalVid (KLAUE; RATHKE; WOLISZ, 2003), com modificações em seu código para adaptar ao problema de divisão por zero existente no cálculo do PSNR em questão. O mapeamento entre o MOS, PSNR e SSIM é apresentado na Tabela 2.4.

2.4.3 PSNR

Para avaliação do PSNR é necessário saber o cálculo de MSE (*Mean Squared Error*), (KUMAR et al., 2009).

$$MSE = \frac{1}{MN} \sum_{i=0}^{m-1} \sum_{j=0}^{n-1} [I(i, j) - K(i, j)]^2 \quad (2.5)$$

O fator MN é a dimensão do vídeo em pixels, a matriz $I(i, j)$ é o conteúdo do vídeo original, $K(i, j)$ é o conteúdo do vídeo recebido, que obteve possíveis erros após ter sido realizada a transmissão.

O somatório dos erros residuais do vídeo transmitido em relação ao vídeo enviado nos dá a estimativa do o MSE que é o erro médio quadrático da imagem.

$$PSNR = 20 \cdot \log_{10} \left(\frac{MAX_I}{\sqrt{MSE}} \right) \quad (2.6)$$

Para o valor de MAX_I , é o maior valor de pixel da imagem. Como os pixels são representados usando 8 bits por amostra, o seu valor é 255.

2.4.4 SSIM

A avaliação do SSIM tem como base a característica psico-visual humana (WANG et al., 2004).

Primeiro, a luminância de cada imagem é comparada. Assumindo como sinais discretos, esta é a estimativa da intensidade média da luminância.

$$\mu_x = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N x_i. \quad (2.7)$$

O segundo passo é remover a intensidade média do sinal. De forma discreta, o sinal obtido $x - \mu_x$ corresponde à projeção do vetor x ao hiperplano definido por:

$$\sum_{i=1}^N (x_i - \mu_x) = 0. \quad (2.8)$$

O desvio padrão é uma estimativa para o sinal de contraste. Uma estimativa imparcial na forma discreta é obtida em:

$$\sigma_x = \sqrt{\left(\frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^N (x_i - \mu_x)^2 \right)}. \quad (2.9)$$

A comparação de contraste $c(x, y)$ é obtida da similaridade de σ_x e σ_y .

Terceiro, a normalização do sinal é obtido com ambos os desvios padrões, assim os dois sinais podem ser comparados tendo o mesmo desvio padrão. A estrutura de similaridade $s(x, y)$ é realizada normalizando os sinais $(x - \mu_x)/\sigma_x$ e $(y - \mu_y)/\sigma_y$.

Finalmente, os três componentes são combinados para produzir uma medida geral similaridade.

$$S(x, y) = f(l(x, y), c(x, y), s(x, y)). \quad (2.10)$$

Para similaridade da luminância, é definido

$$l(x, y) = \frac{2\mu_x\mu_y + C_1}{\mu_x^2 + \mu_y^2 + C_1}, \quad (2.11)$$

onde a constante C_1 é incluída para evitar a instabilidade quando $\mu_x^2 + \mu_y^2$ estiver com valores próximos de zero. A escolha dos fatores é feita a seguir:

$$C_1 = (K_1L)^2, \quad (2.12)$$

onde L é um valor possível para a variação dos pixels (255 para 8 bits em tons de cinza), e $K_1 \ll 1$ é uma pequena constante, cujo valor utilizado nessa dissertação é o proposto por (WANG et al., 2004) $K_1 = 0.01$. Considerações similares serão aplicadas em relação à comparação de contraste e comparação da estrutura serão vista mais à frente.

A equação 2.11 é semelhante à lei de Weber, a qual tem sido amplamente utilizado para modelagem de adaptação da luz, assim nomeada máscara de luminância, em HVS (*Human Visual System*). De acordo como a lei de Weber, a magnitude da variância da luminância ΔI é aproximadamente proporcional à luminância de fundo I para uma larga faixa de valores de luminância. Em outras palavras, o HVS é sensível a mudança de luminância relativa, e não ao valor absoluto da variação da luminância. A variável R representa o tamanho da mudança relativa da luminância para a luminância de fundo, a luminância do sinal distorcido é definido como $\mu_y = (1 + R)\mu_x$. Substituindo na equação 2.11 temos

$$l(x, y) = \frac{2(1 + R)}{1 + (1 + R)^2 + \frac{C_1}{\mu_x^2}} \quad (2.13)$$

Assumindo que o valor de C_1 é pequeno em relação à μ_x^2 ele é ignorado, assim $l(x, y)$ está apenas em função de R , quantitativamente consistente com a lei de Weber.

A função de comparação do contraste tem uma forma similar

$$c(\mathbf{x}, \mathbf{y}) = \frac{2\sigma_x\sigma_y + C_2}{\sigma_x^2 + \sigma_y^2 + C_2}, \quad (2.14)$$

onde $C_2 = (K_2L)^2$, e $K_2 \ll 1$ ou $K_2 = 0.03$ (WANG et al., 2004). Esta definição satisfaz novamente as três propriedades listadas acima.

Uma característica importante desta função é que, com a mesma quantidade de alteração do contraste $\Delta\sigma = \sigma_y - \sigma_x$, essa medida tem pouca sensibilidade para o caso de obter grandes variações de contraste σ_x .

A comparação de estrutura é conduzida depois da subtração da luminância e normalização da variância. É associado os dois vetores $(\mathbf{x} - \mu_x)/\sigma_x$ e $(\mathbf{y} - \mu_y)/\sigma_y$, cada correspondendo ao hiperplano definido por (ESKICIOGLU; FISHER, 1995), com as estruturas das duas imagens. A simples correlação das imagens é a medida efetiva da quantidade da similaridade estrutural. Pode ser observado que a correlação entre $(\mathbf{x} - \mu_x)/\sigma_x$ e $(\mathbf{y} - \mu_y)/\sigma_y$ são equivalentes para a correlação entre \mathbf{x} e \mathbf{y} . Assim pode ser definido a função de comparação estrutural como:

$$S(\mathbf{x}, \mathbf{y}) = \frac{\sigma_{xy} + C_3}{\sigma_x\sigma_y + C_3}. \quad (2.15)$$

Como nas medidas de luminosidade e contraste, é introduzido uma pequena constante em ambos denominadores e numeradores. Na forma discreta, σ_{xy} pode ser estimado por

$$\sigma_{xy} = \frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^N (x_i - \mu_x)(y_i - \mu_y). \quad (2.16)$$

Pode ser combinado as três comparações de 2.11, 2.14 e 2.15 e nomear o resultado de índice da medida de similaridade entre as imagens \mathbf{x} e \mathbf{y} .

$$SSIM(\mathbf{x}, \mathbf{y}) = [l(\mathbf{x}, \mathbf{y})]^\alpha \cdot [c(\mathbf{x}, \mathbf{y})]^\beta \cdot [s(\mathbf{x}, \mathbf{y})]^\gamma, \quad (2.17)$$

onde $\alpha > 0$, $\beta > 0$ e $\gamma > 0$ são parâmetros usados para ajuste da importância relativa dos três componentes. E esta definição satisfaz as três condições acima. Por efeito de simplicidade, pode ser setado $\alpha = \beta = \gamma = 1$ e $C_3 = C_2/2$. O resultado do índice SSIM

$$SSIM(X, Y) = \frac{(2\mu_x\mu_y + C_1)(2\sigma_{xy} + C_2)}{(\mu_x^2 + \mu_y^2 + C_1)(\sigma_x^2 + \sigma_y^2 + C_2)} \quad (2.18)$$

2.5 Trabalhos relacionados

(KELLY et al., 2004) propõe o uso de uma estratégia *delay-centric*, RDC, para efetuar a mudança de caminho em redes sem fio, em que as alterações de caminho são realizadas basicamente através do cálculo de média exponencial do RTT, e de um parâmetro inserido no método chamado de *histerese* (GAVRILOFF; RIBEIRO, 2008). Esse parâmetro deve ser ajustado e tipicamente com valor em torno de dezenas de milissegundos. Esse parâmetro auxilia na estabilidade do algoritmo e na quantidade de trocas.

(KELLY et al., 2004) propõe o uso de uma estratégia *delay-centric*, RDC, para efetuar a mudança de caminho em redes sem fio. As alterações de caminho são realizadas basicamente através da comparação dos SRTTs dos caminhos.

Os resultados indicam que as aplicações que exigem transmissão em tempo real podem se beneficiar com o uso desta abordagem. Ao contrário da proposta original do SCTP, o algoritmo de troca de caminho baseado em atraso não marca o caminho original como inativo em caso de troca.

Em (JR PAUL D. AMER, 2006) são avaliadas três políticas de retransmissão no protocolo SCTP. Cada política apresenta compensações com base na largura de banda dos caminhos, atraso, taxa de perda e acessibilidade no destino IP. Os autores propõem o uso de uma política híbrida que envia retransmissões rápidas pelo caminho primário e retransmissões por *timeout* pelo caminho alternativo. Os resultados indicam

que a política híbrida proposta apresenta vantagens em diversos cenários de falha.

Gavriloff e Ribeiro (2008) fizeram estudos implementando o *RDC* no protocolo SCTP para transmissão de sistemas de voz sobre IP. Os autores demonstram que o uso de estratégias *RDC* resulta em uma melhor qualidade percebida pelo usuário. É analisado a parametrização do fator de histerese, onde a troca do caminho primário não ocorre imediatamente, na tentativa de melhorar a estabilidade do método para aplicação de voz. Neste trabalho, o módulo SCTP do simulador NS2 foi modificado para suportar a estratégia *RDC* proposta e o código fonte foi disponibilizado publicamente.

Rüncos (2011), apresentou estudo de desempenho do SCTP juntamente com o mecanismo de troca automática de rotas baseado em atraso *RDC* para o transporte de tráfego VoIP *Voice Over IP* em terminais multi-abrigados. Os cenários simulados envolveram atrasos e perdas variáveis. Dois parâmetros que apresentaram forte influência sobre o comportamento do SCTP, o PMR (Path.Max.Retrans) e o RTOMax (Valor máximo do Retransmission TimeOut), têm seus valores variados com o objetivo de investigar sua influência na qualidade de chamadas VoIP. A métrica de desempenho utilizada é o MOS (Mean Opinion Score) estimado a partir do E-model. Os resultados indicam que abordagens mais agressivas, representadas por menores valores para os parâmetros estudados, proporcionam uma melhor qualidade nas chamadas VoIP.

Em (FRACCHIA et al., 2007) é proposto um método chamado WISE (*Wireless SCTP Extension*) para estimação de congestionamento e falhas de transmissão em redes sem fio com perdas em rajada. Sua forma de avaliação foi a transferência volumosa de dados. Através de estimação da largura de banda é afirmado que há maior *throughput* e maior robustez a falhas.

Fitzpatrick et al. (2006) propõem um método que leva em conta tanto atraso quanto perda em transmissões multimídia. O método se chama ECHO (*Endpoint Centric Handover*). Como parâmetro de decisão esse método tem a qualidade do tráfego

VoIP, estimada a partir do E-model. Através do ECHO, tanto atraso como as perdas são levados em conta indiretamente na tomada de decisão pelo melhor caminho.

Kashihara et al. (2004) desenvolveu um método de seleção de caminho visando a qualidade em transmissão de dados em tempo real. Seu método de realização de troca de caminho tem base em regras utilizando medições na largura de banda. O objetivo desse método foi proporcionar a melhoria da transmissão em cenários sem fio multi-abrigados que tenham diferentes valores de perda, atraso e largura de banda. O método mostrou-se eficaz, houve melhora no desempenho da rede para *hosts* móveis em *roaming* dentro da cobertura de áreas de sobreposição, fornecendo seleção de caminho dinamicamente.

O método que está sendo proposto (*PDC-MACD*) tem características preditivas que se imagina serem superiores aos método puramente reativos (*RDC*). Os dois métodos são baseados em séries temporais e suavização exponencial. A eficácia dos resultados encontrados na literatura versus a simplicidade de aplicação do algoritmo (*RDC*), foi o motivador para utilizá-lo para comparação da qualidade dos vídeos transmitidos.

CAPÍTULO 3

MÉTODO PROPOSTO

Nesse capítulo será demonstrado todo o funcionamento do método MACD (*Moving Average Convergence Divergence*). Na seção 3, estão representado todos os detalhes do método, assim como o seu algoritmo e topologia utilizada nas transmissões dos vídeos. Na seção 3.2, é apresentada toda a metodologia utilizada nas transmissões dos vídeos, incluso os critérios dos vídeos utilizados. Na seção 3.3 é relatado como foi realizada a aquisição de latência dos servidores de vídeo, assim como programas utilizados e IP do servidor. Na seção 3.4, é explicado como foram realizadas as transmissões dos vídeos, assim como *softwares* e procedimentos utilizados. Na seção 3.5, é especificado o procedimento de avaliação da qualidade do vídeo recebido, formatos dos vídeos e atraso máximo permitido em aplicações de IPTV. E finalmente é apresentado na seção 3.6, os testes estatísticos realizados para obter confiança com relação à qualidade dos vídeos que foram transmitidos.

3.1 Método de seleção de caminho baseado no *PDC*

A observação da série formada pelo RTT indica que o aumento ou redução da latência ocorre na escala de segundos, com uma dependência temporal na série que pode ser utilizada para previsões. Isso é demonstrado graficamente na figura 3.1, através da função de autocorrelação (ACF) dos atrasos de ida e volta (RTT) adquiridos a cada segundo nas redes ADSL, 3G e WIFI. A ACF demonstra a dependência existente dos dados com valores passados. A curva em linha indica a média móvel de curto prazo, em tracejado, de longo prazo.

A ideia central do método é realizar uma previsão sobre o aumento do RTT, de

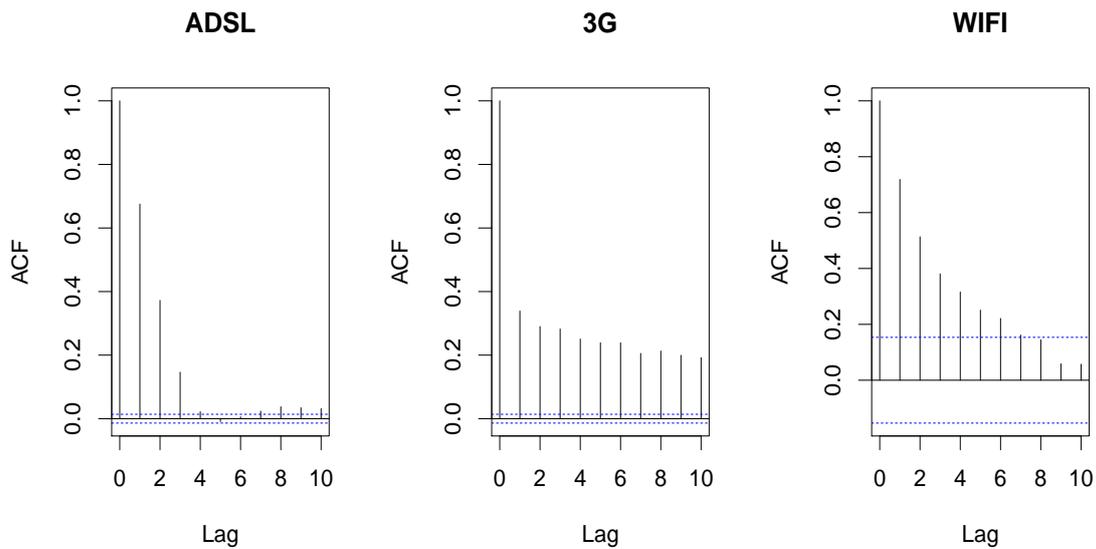


Figura 3.1: Função de autocorrelação (ACF) dos RTTs das redes ADSL, 3G e *WiFi*

forma a realizar a troca do caminho primário *antes* que o atraso ultrapasse o valor crítico para a reprodução do vídeo.

O método MACD foi proposto originalmente para realizar previsões de séries temporais no mercado financeiro. Trata-se de um indicador de tendência que mostra a relação entre duas médias móveis exponenciais (ou EMA, *Exponential Moving Averages*) (APPEL, 1999). O EMA é o método utilizado para obter o SRTT, definido na Equação 2.1. Para aplicação do método MACD, são utilizadas duas médias móveis. Os valores de α serão escolhidos para obter médias móveis de curto e longo prazo, respectivamente $SRTT_1$ e $SRTT_2$.

Uma tendência de subida ou descida na série é indicada pelo cruzamento das médias móveis de curto e longo prazo. Quando o MACD é utilizado no mercado financeiro de ações, a interpretação será de compra e venda de ações. No caso da aplicação planejada, apenas tendências de subida são de interesse. No método proposto, caso uma tendência de subida seja detectada e o valor do atraso seja maior do que um certo limite δ , o caminho primário será trocado para o caminho secundário que apresentar menor atraso. Adicionalmente, o caminho que não apresentar *throughput* suficiente será considerado inativo. Nesta dissertação, utilizamos como limite para o

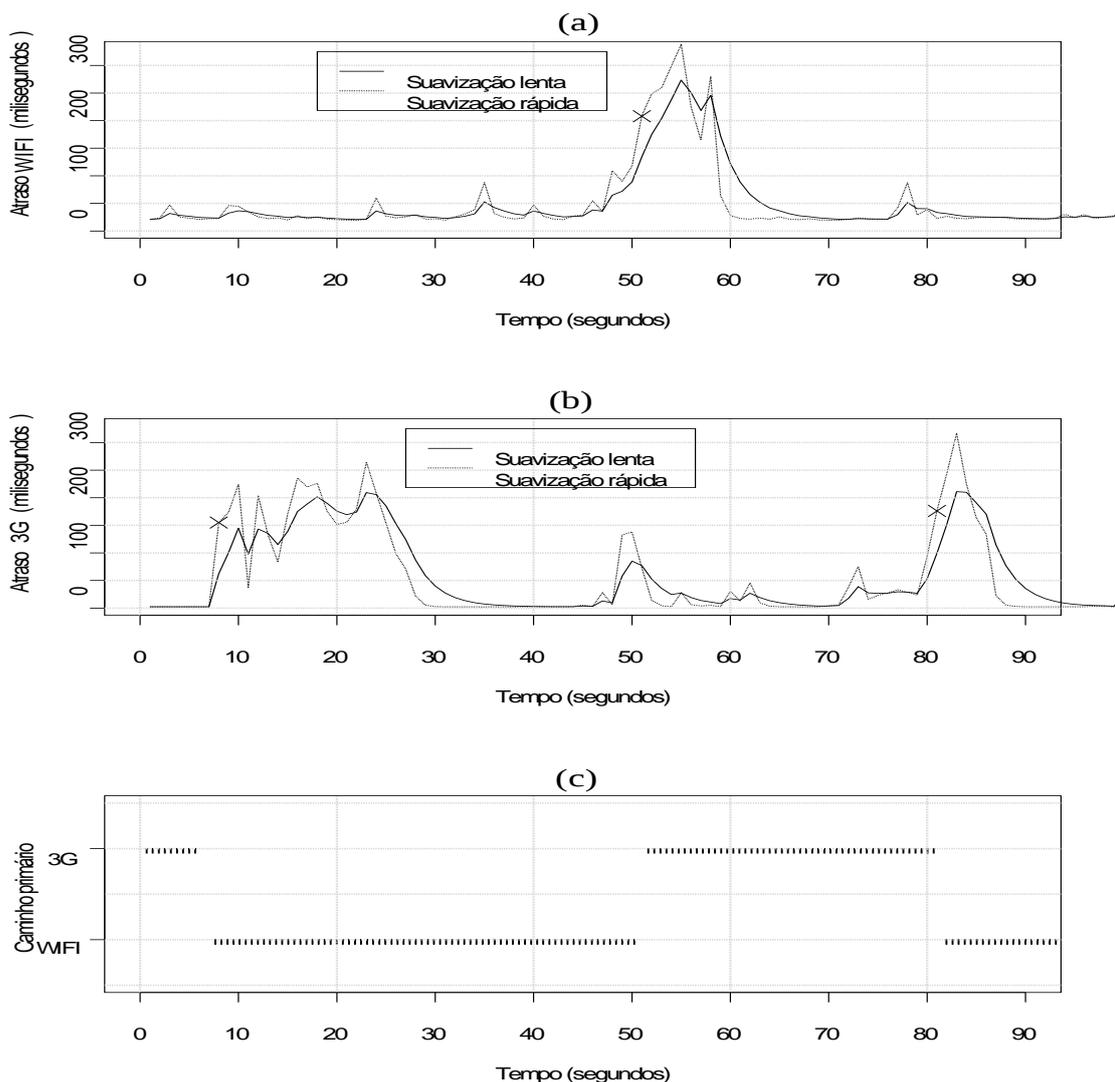


Figura 3.2: Médias móveis de dois caminhos ativos, 3G-WIFI, com escolha de caminho primário utilizando método *PDC*

atraso o valor de $\delta = 150ms$ (*mili-segundos*). A latência entre servidor e cliente é estimada utilizando-se o valor corrente do RTT dividido por dois.

A Figura 3.2 ilustra a aplicação do método, apresentando $SRTT_1$ média rápida e $SRTT_2$ média lenta, para simulação da transmissão do vídeo Highway em uma situação com dois caminhos ativos. O gráfico na posição (a) da figura 3.2 mostra os valores de $SRTT_1$ e $SRTT_2$ para a rede 3G. Na posição (b), o gráfico mostra os mesmos valores amostrados na rede *Wifi*. E na posição (c) indica qual o caminho primário em uso ao longo do tempo.

Quando a média de curto prazo cruza a média de longo prazo na subida, isto é uma confirmação da tendência de alta. Para evitar a troca excessiva de caminho, uma vez detectada a tendência de alta a troca só será realizada quando o atraso corrente ultrapassar o limite δ . A figura indica com um "X" os momentos de troca de caminho.

O método proposto demanda medições periódicas do RTT de cada caminho. Isto pode ser obtido através das mensagens de *heartbeat* do protocolo SCTP, que podem ser configuradas para serem transmitidas com período de 1 segundo. Isto contrasta com a proposta padrão do SCTP, que transmite tipicamente o *heartbeat* com período de 30 segundos. No entanto, as propostas de algoritmo de troca de caminho utilizando estratégias baseadas em latência normalmente sugerem a redução do período de transmissão do RTT para obter melhores resultados. Isto não deve impactar significativamente no desempenho dos enlaces porque o consumo de banda das mensagens de *heartbeat* não é significativo em comparação à largura de banda normalmente disponível atualmente na rede de acesso.

A implementação do método proposto demanda a modificação do código do SCTP, incluindo o cálculo das duas médias móveis e escolha apropriada dos valores dos parâmetros α_1 e α_2 para cada uma delas. Sugerimos o uso de $\alpha_S = \frac{2}{3} \cong 0.667$ e $\alpha_L = \frac{2}{13} \cong 0.153$ respectivamente para suavização de curto e longo prazo. Estes valores foram encontrados empiricamente, visando a menor quantidade de perdas e a menor quantidade de trocas entre os caminhos. Sendo o valor de α_1 o mais significativo, de forma que uma pequena variação do valor causa grande variação na quantidade de trocas de caminho ou perdas. A Figura 3.3 apresenta o algoritmo utilizado para decisão de troca de caminho PDC.

3.2 Metodologia

Foram realizados experimentos comparando o desempenho do método *PDC* com a proposta *RDC* original e utilizando valores de *histerese*. Como referências foram re-

```

real  $\alpha_S = 0.667$  ; //  $\alpha$  for short-term EMA
real  $\alpha_L = 0.153$  ; //  $\alpha$  for long-term EMA
integer  $n$  ; // number of active paths
integer  $p$  ; // primary path
integer  $i$  ; // auxiliary variable
integer  $j$  ; // auxiliary variable
real  $RTT [1..n]$ ; // RTT current value of active paths
real  $SRTT_S [1..n]$ ; // short-term EMA of active paths
real  $SRTT_L [1..n]$ ; // long-term EMA of active paths
 $\delta \leftarrow 150ms$  ; // threshold for handover
 $p \leftarrow 1$ ;
 $n \leftarrow activePaths()$ ;
for  $i \leftarrow 1$  to  $n$  do
  | read(RTT);
  |  $SRTT_S[i] = (1 - \alpha_S) \cdot SRTT_S[i] + \alpha_S \cdot RTT[i]$  ; // update  $SRTT_S$ 
  |  $SRTT_L[i] = (1 - \alpha_L) \cdot SRTT_L[i] + \alpha_L \cdot RTT[i]$  ; // update  $SRTT_L$ 
end
 $j \leftarrow p$ ;
for  $i \leftarrow 1$  to  $n$  do
  | if ( $SRTT_S[i] < SRTT_S[p]$ ) then
  | |  $j = i$ ;
  | end
end
; // Test for handover
if ( $SRTT_S[p] \geq SRTT_L[p]$ ) and ( $SRTT_S[p] > 2\delta$ ) and ( $SRTT_S[i] < SRTT_S[p]$ )
then
  |  $p = j$  ; // change primary path
end

```

Figura 3.3: Algoritmo proposto para detecção de caminho por tendência, PDC.

alizados teste considerando-se o SCTP padrão também, visto que a transmissão de vídeo com os dois métodos ainda não havia sido realizada.

Os testes para validação dos métodos propostos foram realizados utilizando simulação computacional. A topologia de teste e os padrões de tráfego foram escolhidos de modo a imitar sistemas reais disponíveis atualmente, ou seja um cliente acessando um servidor de vídeo. Entre o cliente e o servidor existe o congestionamento, *buffer* e atrasos da rede, que são os dados de latência que foi medido entre cliente e servidor, a topologia é ilustrada na Figura 3.4. O método proposto não detecta possíveis perdas em função do meio de acesso, apenas prevê e tenta minimizar a perda que poderia

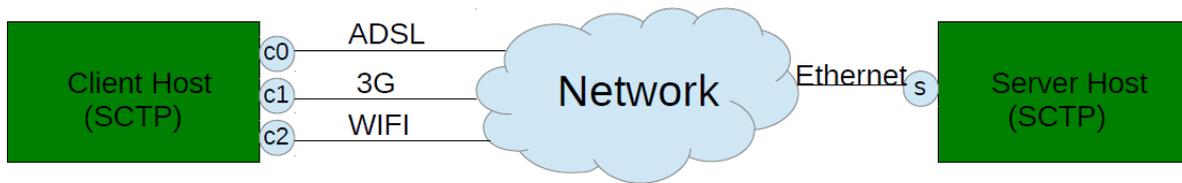


Figura 3.4: Topologia de rede multi-abrigada

ser causada em função da latência.

Os resultados foram analisados utilizando ferramentas estatísticas como médias e intervalos de confiança, mais especificamente foi realizado o *teste T para dados pareados* (BARBETTA, 2004). A qualidade da experiência será estimada através de PSNR e SSIM utilizados como ferramentas disponíveis publicamente por (KLAUE; RATHKE; WOLISZ, 2003).

Foram realizados dois tipos de testes. O primeiro envolve a análise da aplicação do método em 30 amostras de *traces* de 600 segundos totalizando 18000 segundos de latência, com atraso, jitter, perdas e número de trocas de caminho realizadas. Os testes foram realizados supondo que o cliente possui dois caminhos ativos, com as opções ADSL-3G, WIFI-3G e ADSL-WIFI. O segundo envolve a simulação da transmissão de vídeos, com a remontagem no cliente e a avaliação da qualidade utilizando os métodos PSNR e SSIM.

Para ambos os testes foi realizado o teste *T* para duas amostras pareadas, permitindo a avaliação dos resultados.

A retransmissão com confiabilidade parcial PR-SCTP não foi realizada nas simulações, para que não existisse conflito nos resultados, assim a melhora que as simulações apontarem serão do método *PDC* proposto.

3.3 Aquisição de latência real

Foram coletadas amostras de atraso em redes de acesso do tipo ADSL, 3G e WIFI. A rede ADSL em teste é operada pela GVT (*Global Village Telecom*) com 10Mbps (*Megabit per Second*), a rede 3G é operada pela Claro com 1Mbps. A rede WIFI 10Mbps é a rede do Departamento de Engenharia Elétrica da UFPR, que utiliza o padrão IEEE802.11g e está conectada a uma rede Ethernet utilizada por vários usuários, que por sua vez conecta-se com a Internet que pode ser considerada como não congestionada, pois utiliza um enlace com taxa de 20Gbps.

Em todos os casos, os dados foram coletados em horários comerciais para refletir o uso regular do sistema. O atraso fim-a-fim foi obtido monitorando o envio de pacotes ICMP (*Internet Control Message Protocol*) ECHO REQUEST/REPLY utilizando o programa *ping*, com um computador conectado na rede de acesso sendo testada e dois servidores de vídeo localizados na Internet. O servidor escolhido foi: 198.45.48.71 (*NetFlix*).

3.4 Transmissão dos vídeos

Quando falamos de um vídeo qualquer, é necessário dizer em que formato esse vídeo foi compactado, ou seja, o *codec* utilizado nesse vídeo. Para compactar os vídeos foi utilizado o programa *ffmpeg* (KLAUE; RATHKE; WOLISZ, 2003). Toda a rotina de testes e simulação esta ilustrada na figura 3.5.

No pré-processo é necessário ter o vídeo de referência para análise de qualidade posteriori, esse procedimento é realizado com o programa *ffmpeg*. Para tanto o vídeo é convertido de volta ao formato YUV (sem compressão) para que a referência contenha também a degradação devido à compressão *mpeg4*. O interesse nessa dissertação e a melhora relativa em função somente dos métodos de troca de caminho. Para o vídeo ser transmitido, antes ele precisa ser packetizado, ou seja, ser alocado

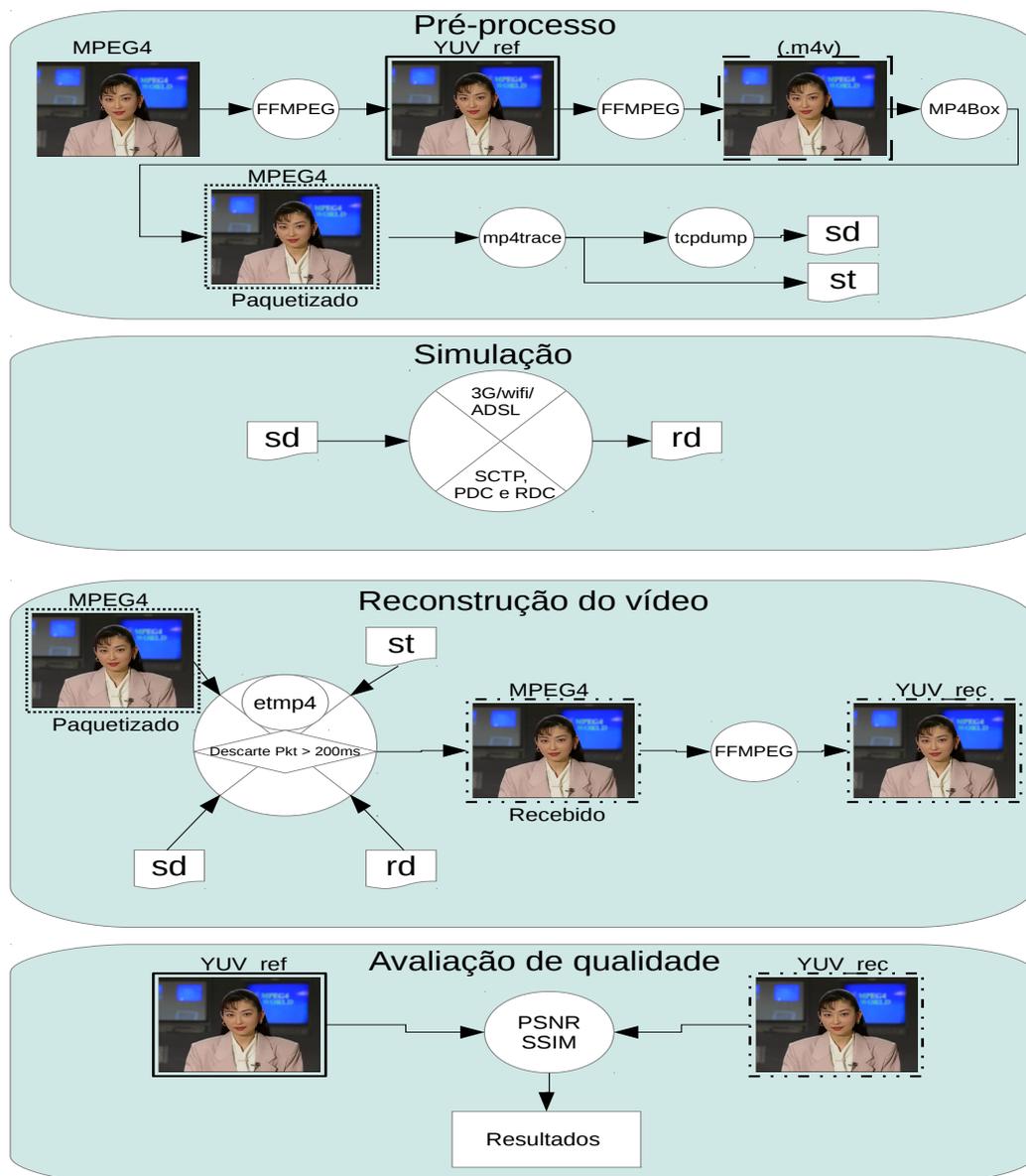


Figura 3.5: Fluxograma dos testes

em formato de pacotes IP com tamanho de 1460 Bytes. Para isso foi usada o ferramenta de trabalho do Evalvid *mp4box*. E para enviar os pacotes de vídeo é utilizado o *mp4trace*. O *mp4trace* recebe o vídeo em formato *mpeg4* e o transforma em um *trace* de dados, configurado para enviar *frames* do vídeo. O envio é realizado pelo próprio *mp4trace* através do protocolo RTP (*Real Time Protocol*) sob transporte do UDP (*User Datagram Protocol*). No receptor é necessário o uso de um programa para tocar o vídeo que está sendo transmitido, foi utilizado o reprodutor de mídia VLC versão 2.0.8

no Ubuntu 12.04 32-bit. O *mp4trace* gera um arquivo que representa todos os pacotes enviados, e é necessário para remontar o vídeo para avaliação de qualidade. No receptor é necessário realizar a captura do tráfego de rede, *tcpdump*, para resgatar os pacotes de vídeo que estão sendo recebidos.

Na parte de simulação do fluxograma, é elaborado o arquivo *rd* de recepção do vídeo, onde é realizada a somada das latências de cada enlace e método utilizado. Os métodos *PDC* e *RDC* foram implementados no programa OCTAVE.

A reconstrução do vídeo foi realizado com as latências do método padrão do SCTP, *PDC* e *RDC*. Esse procedimento é realizado através de uma rotina feita em shell script no linux que utiliza o programa *etmp4* para descarte de pacotes onde houvesse latência superior a 200ms. Depois de remontado com fragmentos é gerado o arquivo YUV do vídeo recebido.

Na avaliação de qualidade, é feita a comparação do vídeo enviado e recebido através do PSNR e SSIM.

3.5 Avaliação de qualidade

Para a avaliação de qualidade do vídeo é necessário ter um vídeo em formato YUV, de referência para comparar o vídeo enviado e o recebido. Esse vídeo sem compactação e gerado com o *ffmpeg*.

A remontagem do vídeo foi realizada com o *etmp4* (KLAUE; RATHKE; WOLISZ, 2003). Foi configurado um *playout buffer* de 200ms. Os pacotes que tiverem latência maior que este valor são considerados perdidos.

Tendo em mãos o arquivo de vídeo remontado é possível fazer a comparação de qualidade do vídeo recebido com o original. Para fazer a avaliação de qualidade é necessário que os dois vídeos estejam em formato YUV.

A ferramenta de avaliação do PSNR do EvalVid, foi modificada, para quando as

imagens forem idênticas, ou o erro médio é zero. Isso pode ser observado na equação 2.4.3, o MSE fica no divisor, o que leva o resultado atingir um valor que tende a infinito. Para isso é realizada a média do MSE e depois é calculado o PSNR com relação ao MSE.

3.6 Teste t para duas Amostras Pareadas

O teste t é apropriado para comparar dois conjuntos de dados quantitativos, em termos de seus valores médios. Mais especificamente:

$$H_0 : \mu_1 = \mu_2 \text{ e } H_1 : \mu_1 \neq \mu_2$$

Onde: μ_1 é o valor do tratamento esperado da resposta sob o tratamento 1 e μ_2 é o valor esperado da resposta pelo tratamento 2.

Na abordagem unilateral, a hipótese alternativa é do tipo $H_1' : \mu_1 > \mu_2$ ou $H_1'' : \mu_1 < \mu_2$.

Para a abordagem dessa dissertação, as hipóteses podem ser formuladas da seguinte maneira:

H_0 : a qualidade obtida entre os algoritmos *PDC* e *RDC* é equivalente.

H_1 : a qualidade obtida pelo método *PDC* é melhor do que o método em comparação.

ou

$$H_0: \mu_2 = \mu_1 \text{ e } H_1: \mu_2 > \mu_1$$

onde:

μ_2 é a média da variável de interesse no algoritmo proposto (*PDC*) e μ_1 no método de comparação (SCTP padrão ou *RDC*). As variáveis consideradas foram PSNR, SSIM, número de trocas de caminho e perda de pacotes.

A tabela 3.1, mostra o teste estatístico aplicado na comparação da qualidade de transmissão do vídeo Jurassic. Foram realizadas 20 simulações de transmissão considerando os métodos SCTP padrão, *RDC* e *PDC* (com histerese de 30 ms). Os valores da SSIM obtidas com cada um dos métodos estão nas colunas 2, 3 e 5, respectivamente. Na coluna 3 estão as diferenças de qualidade na transmissão do vídeo utilizando o método *PDC* e do SCTP padrão. Na coluna 5 estão as diferenças de valores de qualidade de vídeo entre o método *PDC* e o método *RDC*. Para facilitar a compreensão, será usado a letra Δ como a diferença na qualidade de avaliação entre métodos. Por exemplo, os valores Δ da terceira coluna da tabela 3.1, que são a diferença na qualidade de transmissão de vídeo com método *PDC* com relação ao método do SCTP padrão.

Tabela 3.1: Qualidade na transmissão vídeo jurassic usando método SSIM WIFIX-CABO, com 20 amostras e confiança de 95%

Nº de amostras	<i>PDC</i>	SCTP PADRAO	Δ_1	<i>RDC_H_30</i>	Δ_2
1	0,947	0,877	0,0692	0,930	0,016
2	0,944	0,914	0,029	0,931	0,0132
3	0,987	0,903	0,084	0,980	0,007
4	0,938	0,935	0,002	0,935	0,0023
5	0,947	0,823	0,123	0,941	0,006
6	0,924	0,914	0,009	0,920	0,003
7	0,975	0,936	0,038	0,968	0,006
8	0,946	0,951	-0,005	0,951	-0,0048
9	0,971	0,898	0,073	0,969	0,0023
10	0,965	0,964	0,002	0,964	0,00191
11	0,953	0,872	0,0804	0,930	0,0236
12	0,945	0,794	0,151	0,941	0,0040
13	0,924	0,887	0,037	0,933	-0,009
14	0,950	0,893	0,057	0,950	0,0007
15	1	0,848	0,152	0,980	0,0195
16	1	0,881	0,118	0,958	0,041
17	0,987	0,884	0,103	0,987	0,0001
18	0,997	0,849	0,147	0,988	0,009
19	0,940	0,926	0,013	0,940	-0,0007
20	0,983	0,984	-0,001	0,984	-0,0006
MÉDIAS	0,961	0,897	0,0643	0,954	0,007
$\sum \Delta^2$			0,138		0,003
$n \cdot \overline{\Delta^2}$			0,0828		0,001
$std(\Delta)$			0,054		0,011
t			5,305		2,807
Teste t student			melhorou		melhorou

Onde $\Delta_1 = PDC - SCTP \text{ PADRÃO}$ e $\Delta_2 = PDC - RDC$.

Como os dados são pareados, pode ser estimado qual método foi melhor, ou seja, analisar a variável de diferenças de qualidade:

$$\Delta = X2 - X1 \quad (3.1)$$

Onde $X2$ é o método proposto e $X1$ são os outros métodos usados para comparação, RDC e $SCTP$ padrão. Com isso termos da variável diferença Δ , e as hipóteses são descritas como:

$$H0 : \mu_{\Delta} = 0 \text{ e } H1 : \mu_{\Delta} > 0$$

onde μ_{Δ} é o valor médio esperado de Δ . Assim, dada uma amostra, é calculado a estatística do teste por:

$$t_{fim} = \frac{\bar{\Delta} \cdot \sqrt{n}}{std(\Delta)} \quad (3.2)$$

onde: n é o tamanho da amostra (número de pares de métodos em teste); $\bar{\Delta}$ é a média das diferenças observadas; e $std(\Delta)$ é o desvio padrão das diferenças observadas.

Supondo que os valores Δ provenham de distribuição aproximadamente normal, o teste pode ser realizado com a distribuição t de *Student* com $gl = n - 1$ graus de liberdade.

Para $n = 20$, a quantidade de amostras de vídeos transmitidos $\bar{\Delta} = 0,0643$, onde $\bar{\Delta}$ é a média das diferenças entre métodos.

$std(\Delta) = \sqrt{\frac{1}{n-1} \cdot \sum_i \Delta_i^2 - n \cdot \bar{\Delta}^2} = \sqrt{\frac{0,138 - 20 \cdot 0,0643^2}{19}} = 0,054$, que é o desvio padrão das diferenças, calcula-se

$$t_{fim} = \frac{\bar{\Delta} \cdot \sqrt{n}}{std(\Delta)} = \frac{0,0643 \cdot \sqrt{20}}{0,0542} = 5,30$$

Considerando o nível de significância de $2\alpha = 5\%$ e distribuição t de *Student* com

$gl = 19$, o teste indica que H_0 é falsa, pois o valor $t_{fim} = 5,5 > t_{student} = 2,093$. Portanto os dados mostram evidencias suficientes que o método *PDC* proporciona uma maior qualidade na transmissão de vídeos do que o algoritmo SCTP padrão, com 95% de confiança.

CAPÍTULO 4

ANÁLISE DOS RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os testes são realizados sempre entre 3GxWIFI, 3GxCABO e WIFIXCABO, de modo a imitar configurações típicas encontradas na prática. No futuro, com a popularização do 4G espera-se que o aumento na largura de banda torne o uso da abordagem proposta ainda mais atrativa.

Um primeiro experimento foi realizado utilizando-se diversas configurações de tamanho do GOP. O uso de um maior número de quadros no GOP aumenta a compactação. Deseja-se determinar se o tamanho do GOP influencia o desempenho do método proposto. Foram testados tamanhos de GOP com 6, 9, 12, 15 e 18 quadros, sempre utilizando 2 quadros Bs entre quadros I e P. Foi realizada a simulação da transmissão dos vídeos, utilizando os dados de atraso coletados. Para comparação, são apresentados os resultados correspondentes utilizando-se o algoritmo padrão do SCTP e também empregando-se o método proposto por (KELLY et al., 2004) com fator de histerese de $10ms$ e $20ms$. Pode ser observado que a aplicação do método *PDC* resultou em um ganho de qualidade em relação aos outros métodos disponíveis. Nesses experimentos foram utilizados os vídeos codificados em MPEG4 como referência. Assim a degradação de qualidade resultante da compactação com vários tamanhos GOPs não é considerada. O experimento considera apenas a degradação de qualidade causada pelo atraso ponto-a-ponto superior a 200ms. Com base nisso, os resultados indicam que a variação do GOP não altera de modo significativo com o funcionamento do método, ou seja, a transmissão de vídeos com diferentes *GOPs* não apresentou fragmentos suficientes para ser distinguido entre os métodos utilizados. Isso pode ser visto nas figuras 4.1 e 4.2 mostram respectivamente o PSNR e o SSIM obtidos.

Como as simulações não apresentaram grandes variações de PSNR e SSIM entre

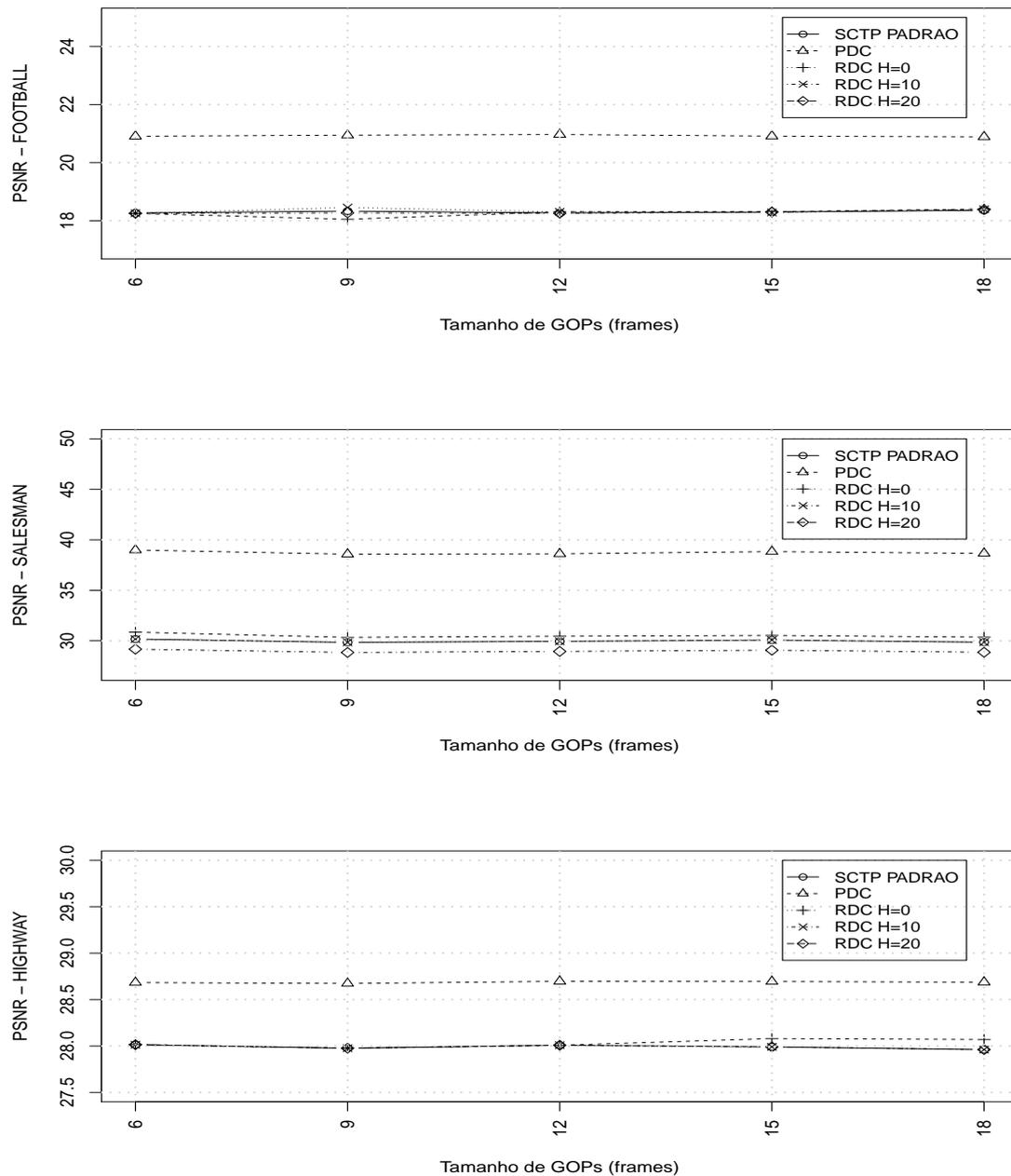


Figura 4.1: PSNR médio obtido na transmissão simulada dos vídeos em função do GOP utilizado na codificação.

os métodos avaliados, foi usada uma configuração de GOP padrão para as demais simulações. Onde o Valor de $GOP = 12$ e $frames B = 2$.

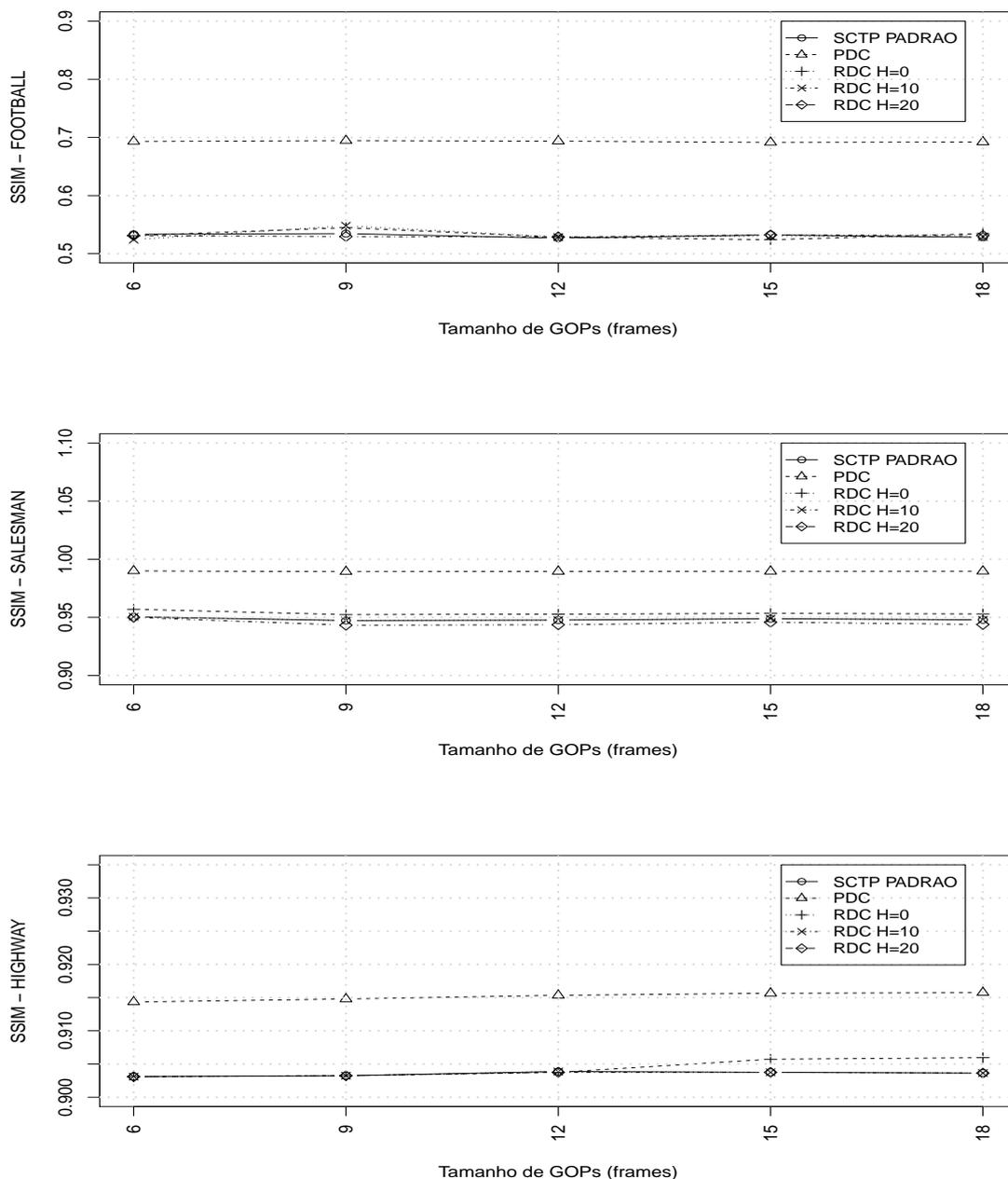


Figura 4.2: SSIM médio obtido na transmissão simulada dos vídeos em função do GOP utilizado na codificação.

4.1 Avaliação de latência nos 3 cenários sem vídeo

Nas tabelas 4.1 e 4.2 podem ser observados os resultados da simulação realizada apenas com a latência medida do servidor de vídeo *netflix*. Neste cenário existe a competição entre a rede ADSL/CABO e um link 3G. Estão sendo mostrados os valores

médios de 30 amostras de latência, com duração de 600s cada uma. Outro fator de importância é a quantidade de mudança de caminho, pois a mudança muito frequente pode tornar o algoritmo instável. Deste modo a situação ideal é obter uma menor quantidade de mudança de caminhos, porém com uma menor quantidade de perda de pacotes.

Tabela 4.1: Avaliação das mudanças de caminho apenas com latência, CABOX3G com 95% de confiança e 30 amostras.

Método	Média	t	Teste t <i>Student</i>
<i>PDC</i>	5,87		
<i>RDC H = 0ms</i>	33,13	8,15	melhorou
<i>RDC H = 10ms</i>	10,36	3,39	melhorou
<i>RDC H = 20ms</i>	4,6	-1,51	métodos idênticos
<i>RDC H = 30ms</i>	2,67	-5,04	método DC é melhor

Tabela 4.2: Avaliação de perdas nos caminhos apenas com latência, CABOX3G com 95% de confiança e 30 amostras.

Método	Média	t	Teste t <i>Student</i>
<i>PDC</i>	4,15		
SCTP PADRÃO	8,34	3,51	melhorou
<i>RDC H = 0ms</i>	27,81	1,19	métodos idênticos
<i>RDC H = 10ms</i>	4,46	1,83	métodos idênticos
<i>RDC H = 20ms</i>	5,07	2,65	melhorou
<i>RDC H = 30ms</i>	4,39	2,36	melhorou

A comparação, ou teste T para dados pareados entre os valores, foram utilizados os métodos antigos, ou seja, o SCTP padrão e *RDC* com relação ao método *PDC*. O motivo pelo qual o SCTP padrão não tem valores de mudança de caminho é que devido a sua característica de troca, ele não muda de caminho em função da grande quantidade de perdas que é necessária para isso, pois não ocorrem os 5 estouros consecutivos do RTO e assim não é contabilizado na variável PMR como é relatado na seção 2.1.1.

As tabelas 4.3 e 4.4 mostram as simulações de latência realizados com os *links WiFi* e 3G. Na tabela 4.3, pode ser observado que no teste t *Student* com *RDC* e *histerese = 30ms*, foi acusado que os métodos são idênticos, ou seja não houve diferença significativa que possa apontar a condição de menor quantidade de trocas do método *PDC*. Porém, deve ser ressaltado que com relação a quantidade de perdas de

pacotes, o método *PDC*, conforme tabela 4.4, apresenta menor quantidade de perdas em todas as comparações.

Tabela 4.3: Avaliação da quantidade de trocas nos caminhos WiFlx3G apenas com latência, com 30 amostras e 95% de confiança.

Método	Média	t	Teste t Student
<i>PDC</i>	4,63		
<i>RDC H = 0ms</i>	17,33	4,40	melhorou
<i>RDC H = 10ms</i>	8,8	3,68	melhorou
<i>RDC H = 20ms</i>	6,57	2,12	melhorou
<i>RDC H = 30ms</i>	5,4	0,92	métodos idênticos

Tabela 4.4: Avaliação de perdas nos caminhos WiFlx3G apenas com latência, com 30 amostras e 95% de confiança.

Método	Média	t	Teste t Student
<i>PDC</i>	4,5		
SCTP PADRÃO	23,88	3,92	melhorou
<i>RDC H = 0ms</i>	16,22	2,80	melhorou
<i>RDC H = 10ms</i>	5,69	3,54	melhorou
<i>RDC H = 20ms</i>	5,96	3,41	melhorou
<i>RDC H = 30ms</i>	6,56	3,92	melhorou

Finalizando os testes apenas com latência, pode ser observado nas tabelas 4.5 e 4.6 o resultado das simulações com latência, realizados com os *links WiFi* e *CABO*.

Na tabela 4.5, são relatadas as trocas de caminho e pode ser observado pelo teste *T Student* que o método *PDC* reduz a quantidade de trocas exceto em comparação com o *RDC* usando *histerese = 30ms*. Neste caso foi indicado que os métodos são idênticos, ou seja, não houve diferença significativa que possa apontar a condição de menor quantidade de trocas do método *PDC*.

Porém deve ser ressaltado que com relação à quantidade de perdas de pacotes o método *PDC* se mostrou com menor quantidade em todos os casos na tabela 4.6, tanto para o SCTP padrão quanto para as variações de *histerese* do *RDC*.

4.2 Comparação de qualidade de vídeos entre os métodos

Com relação aos testes, foram utilizados vídeos de no máximo 120s de duração. Um motivo de usar fragmentos de apenas 120s de vídeos é o alto custo computacional

Tabela 4.5: Avaliação da quantidade de trocas nos caminhos WiFixCABO apenas com latência, com 30 amostras e 95% de confiança.

	Média	t	Teste <i>T Student</i>
<i>PDC</i>	4,7		
<i>RDC H = 0ms</i>	16,07	5,45	melhorou
<i>RDC H = 10ms</i>	9,33	3,98	melhorou
<i>RDC H = 20ms</i>	6,67	2,12	melhorou
<i>RDC H = 30ms</i>	5,2	0,49	métodos idênticos

Tabela 4.6: Avaliação da perdas nos caminhos WiFixCABO apenas com latência, com 30 amostras e 95% de confiança.

	Média	t	Teste t Student
<i>PDC</i>	3,46		
SCTP PADRÃO	8,34	3,28	melhorou
<i>RDC H = 0ms</i>	14,85	4,58	melhorou
<i>RDC H = 10ms</i>	6,42	4,82	melhorou
<i>RDC H = 20ms</i>	6,61	4,80	melhorou
<i>RDC H = 30ms</i>	7,04	4,97	melhorou

exigido para avaliação dos mesmos. Como mencionado na seção 3.5, para realizar a avaliação de qualidade de um vídeo é necessário deixá-lo em um formato sem compactação, ou formato crú com a extensão *YUV*, esse formato sem compactação deixa os vídeos com alta qualidade e muito grandes. A análise do SSIM e do PSNR é feita quadro-a-quadro, como mencionado na seção 2.4.3 e 2.4.4.

Nas tabelas 4.7 e 4.8 temos respectivamente as simulações realizadas com o vídeo *Jurassic*. Na tabela 4.7 estão o valores correspondentes ao método SSIM e na 4.8 os valores de PSNR. A comparação dos testes efetuados são sempre com relação à diferença da qualidade de transmissão dos métodos de troca de rotas antigos, SCTP padrão e *RDC* com referencia ao método novo *PDC*.

Tabela 4.7: Avaliação da qualidade SSIM na transmissão dos vídeo *Jurassic*, 22 amostras e 95% de confiança.

Método	SSIM CABOX3G			SSIM WIFIX3G			SSIM WIFIXCABO		
	Média	t	Teste t Student	Média	t	Teste t Student	Média	t	Teste t Student
<i>PDC</i>	0,981			0,975			0,962		
STPC PADRAO	0,962	3,200	melhorou	0,907	7,251	melhorou	0,897	5,306	melhorou
<i>RDC H = 0ms</i>	0,984	0,732	idênticos	0,962	2,368	melhorou	0,969	-1,149	idênticos
<i>RDC H = 10ms</i>	0,981	0,213	idênticos	0,958	3,164	melhorou	0,962	-0,239	idênticos
<i>RDC H = 20ms</i>	0,980	0,487	idênticos	0,957	3,292	melhorou	0,957	0,970	idênticos
<i>RDC H = 30ms</i>	0,982	0,061	idênticos	0,959	3,193	melhorou	0,954	2,807	melhorou

Foram feitas 22 transmissões do vídeo *Jurassic*, com diferentes latências ao nível de significância $\alpha = 5\%$. Ou seja temos 95% de confiança nos resultados encontrados.

Tabela 4.8: Avaliação da qualidade PSNR na transmissão dos vídeo Jurassic, 22 amostras e 95% de confiança.

Método	PSNR CABOX3G			PSNR WIFIX3G			PSNR WIFIXCABO		
	Média	<i>t</i>	Teste <i>t</i> Student	Média	<i>t</i>	Teste <i>t</i> Student	Média	<i>t</i>	Teste <i>t</i> Student
<i>PDC</i>	34,226			32,703			31,771		
STPC PADRAO	31,368	2,567	melhorou	25,512	5,297	melhorou	25,300	5,823	melhorou
<i>RDC H = 0ms</i>	34,818	0,539	identicos	31,756	0,940	identicos	31,756	1,573	identicos
<i>RDC H = 10ms</i>	34,625	0,358	identicos	31,405	1,576	identicos	31,405	2,812	melhorou
<i>RDC H = 20ms</i>	34,360	0,120	identicos	31,387	1,601	identicos	30,919	2,939	melhorou
<i>RDC H = 30ms</i>	34,852	0,800	identicos	31,476	1,389	identicos	30,747	1,464	identicos

Com relação ao método de troca padrão do SCTP, o *PDC* sempre apresentou melhora de qualidade. Existem testes onde o método *PDC* é idêntico ao método *RDC* quando este usa determinados valores de histerese. Porém a necessidade de ajuste da histerese do método *RDC* deixa este algoritmo menos genérico. Houve uma melhora significativa apontada pelo método SSIM, quanto o vídeo estava sendo transmitido e competindo entre caminhos *WIFI* e 3G.

As tabelas 4.9 e 4.10 apresentam os resultados da avaliação de qualidade das simulações realizados com o vídeo *Silence*. Esse é um vídeo com baixa movimentação, porém existem frequentes cortes de cenas. Isso influencia na tamanho dos *frames* *I* da compactação MPEG4. O que influencia também na quantidade de informação transmitida na rede. Na tabela 4.9 são apresentados os valores correspondentes ao método SSIM e na tabela 4.10 os valores de PSNR.

Tabela 4.9: Avaliação da qualidade SSIM na transmissão dos vídeo *Silence*, com 50 amostras e 95% de confiança.

Método	SSIM CABOX3G			SSIM WIFIX3G			SSIM WIFIXCABO		
	Média	<i>t</i>	Teste <i>t</i> Student	Média	<i>t</i>	Teste <i>t</i> Student	Média	<i>t</i>	Teste <i>t</i> Student
<i>PDC</i>	0,966			0,789			0,943		
SCTP PADRÃO	0,932	2,600	melhorou	0,906	2,581	melhorou	0,893	2,581	melhorou
<i>RDC H = 0ms</i>	0,973	-2,077	DC é melhor	0,953	-1,067	Met Ident	0,943	0,032	Met Ident
<i>RDC H = 10ms</i>	0,968	-0,537	Met Ident	0,953	-1,066	Met Ident	0,941	0,510	Met Ident
<i>RDC H = 20ms</i>	0,968	-0,660	Met Ident	0,952	-1,003	Met Ident	0,936	4,246	melhorou
<i>RDC H = 30ms</i>	0,969	-1,102	Met Ident	0,946	-0,362	Met Ident	0,950	-1,124	Met Ident

Foram feitas 50 transmissões do vídeo *Silence*, com diferentes latências ao nível de significância $\alpha = 5\%$. Ou seja foram obtidos 95% de confiança nos resultados encontrados. Com relação ao método de troca padrão do SCTP, quando comparado ao *PDC* em alguns casos mostra que à uma melhora de qualidade. Existem testes onde o método *PDC* é idêntico ao método *RDC*, porém o ajuste de histerese do método

Tabela 4.10: Avaliação da qualidade PSNR na transmissão dos vídeo *Silence*, com 50 amostras e 95% de confiança.

Método	PSNR CABOx3G			PSNR WIFIx3G			PSNR WIFIxCABO		
	Média	<i>t</i>	Teste <i>t</i> Student	Média	<i>t</i>	Teste <i>t</i> Student	Média	<i>t</i>	Teste <i>t</i> Student
<i>PDC</i>	33,327			32,593			29,827		
SCTP PADRÃO	25,164	1,168	Met Ident	26,509	3,826	melhorou	25,625	3,826	melhorou
<i>RDC H = 0ms</i>	33,916	-0,240	Met Ident	33,135	-0,349	Met Ident	29,565	0,136	Met Ident
<i>RDC H = 10ms</i>	33,668	-0,143	Met Ident	33,329	-0,489	Met Ident	29,410	0,218	Met Ident
<i>RDC H = 20ms</i>	33,516	-0,081	Met Ident	32,794	-0,135	Met Ident	28,376	0,786	Met Ident
<i>RDC H = 30ms</i>	33,601	-0,116	Met Ident	31,131	0,772	Met Ident	30,795	-0,513	Met Ident

RDC pode deixar o algoritmo pouco genérico. O motivo para ter essas respostas para esse vídeo, é em função da variação ou variância dos dados, o que para esse caso deixou respostas menos evidentes. Porém não deixa de existir a melhora na qualidade em vários casos.

Nas tabelas 4.11 e 4.12 são apresentados os resultados obtidos a partir das simulações realizadas com o vídeo *Star Wars* que tem a característica de possuir grande movimentação durante todas as cenas. A alta movimentação de uma cena tem relação direta com a qualidade na transmissão do vídeo, isso em função da grande quantidade de informação que é gerada na transmissão dos filmes com essas características e a qualidade do vídeo fica propensa a ficar menor. Na tabela 4.11 estão os valores correspondentes ao método SSIM e na tabela 4.12 os valores de PSNR.

Tabela 4.11: Avaliação da qualidade SSIM na transmissão dos vídeo *Star Wars* alta movimentação, com 30 amostras e 95% de confiança.

Método	SSIM CABOx3G			SSIM WIFIx3G			SSIM WIFIxCABO		
	Média	<i>t</i>	Teste <i>t</i> Student	Média	<i>t</i>	Teste <i>t</i> Student	Média	<i>t</i>	Teste <i>t</i> Student
<i>PDC</i>	0,964			0,956			0,964		
SCTP PADRÃO	0,948	2,127	melhorou	0,895	6,534	melhorou	0,880	6,829	melhorou
<i>RDC H = 0ms</i>	0,973	-1,900	identicos	0,933	2,666	melhorou	0,933	3,533	melhorou
<i>RDC H = 10ms</i>	0,969	-1,097	identicos	0,967	-1,605	identicos	0,929	5,400	melhorou
<i>RDC H = 20ms</i>	0,968	-0,795	identicos	0,925	2,579	melhorou	0,932	5,144	melhorou
<i>RDC H = 30ms</i>	0,969	-1,569	identicos	0,933	2,014	identicos	0,905	1,999	identicos

Tabela 4.12: Avaliação da qualidade PSNR na transmissão dos vídeo *Star Wars* alta movimentação, com 30 amostras e 95% de confiança.

Método	PSNR CABOx3G			PSNR WIFIx3G			PSNR WIFIxCABO		
	Média	<i>t</i>	Teste <i>t</i> Student	Média	<i>t</i>	Teste <i>t</i> Student	Média	<i>t</i>	Teste <i>t</i> Student
<i>PDC</i>	25,652			24,654			25,168		
STPC PADRAO	23,895	2,135	melhorou	20,751	6,387	melhorou	20,149	6,246	melhorou
<i>RDC H = 0ms</i>	26,970	1,787	identicos	23,044	2,579	melhorou	22,516	4,866	melhorou
<i>RDC H = 10ms</i>	26,276	0,992	identicos	26,126	1,742	identicos	22,516	4,866	melhorou
<i>RDC H = 20ms</i>	26,184	0,773	identicos	22,380	2,379	melhorou	22,651	4,493	melhorou
<i>RDC H = 30ms</i>	26,537	1,691	identicos	22,677	2,019	identicos	19,536	1,379	identicos

Com relação ao método de troca padrão do SCTP, o *PDC* apresenta sempre melhora de qualidade. Isto pode ser considerado como satisfatório já que esse é um dos vídeos com maior chance de ser degradado quanto esta sendo transmitido. Existem testes onde o método *PDC* é idêntico ao método *RDC*, porém o ajuste de histerese do método *RDC* pode deixar o algoritmo pouco genérico. Houve uma melhora muito significativa apontada por ambos os métodos de avaliação de qualidade SSIM ou PSNR, quanto o filme estava sendo transmitido e competindo entre caminhos *WIFI* e *CABO*.

Nas tabelas 4.13 e 4.14 estão os resultados das simulações realizadas com o vídeo *Star Wars* com a característica de haver baixa movimentação durante todas as cenas. A movimentação de uma cena tem relação direta com a qualidade na transmissão do vídeo. Apesar de ter baixa movimentação existem cortes e trocas de cena, porém com fundos semelhantes no decorrer do filme.

Tabela 4.13: Avaliação da qualidade SSIM na transmissão do vídeo *Star Wars* baixa movimentação, com 50 amostras e 95% de confiança.

Método	SSIM CABOx3G			SSIM WIFIx3G			SSIM WIFIxCABO		
	Média	<i>t</i>	Teste <i>t</i> Student	Média	<i>t</i>	Teste <i>t</i> Student	Média	<i>t</i>	Teste <i>t</i> Student
<i>PDC</i>	0,996			0,987			0,990		
SCTP PADRÃO	0,985	4,225	melhorou	0,971	4,396	melhorou	0,965	4,396	melhorou
<i>RDC</i> <i>H</i> = 0ms	0,997	-1,486	Met Ident	0,992	1,419	Met Ident	0,989	1,293	Met Ident
<i>RDC</i> <i>H</i> = 10ms	0,996	-0,514	Met Ident	0,992	1,387	Met Ident	0,989	2,719	melhorou
<i>RDC</i> <i>H</i> = 20ms	0,996	-0,503	Met Ident	0,992	1,356	Met Ident	0,989	3,251	melhorou
<i>RDC</i> <i>H</i> = 30ms	0,997	-0,786	Met Ident	0,992	1,350	Met Ident	0,989	3,135	melhorou

Tabela 4.14: Avaliação da qualidade PSNR na transmissão do vídeo *Star Wars* baixa movimentação, com 50 amostras e 95% de confiança.

Método	PSNR CABOx3G			PSNR WIFIx3G			PSNR WIFIxCABO		
	Média	<i>t</i>	Teste <i>t</i> Student	Média	<i>t</i>	Teste <i>t</i> Student	Média	<i>t</i>	Teste <i>t</i> Student
<i>PDC</i>	40,375			35,468			33,855		
STPC PADRAO	30,489	3,628	melhorou	27,901	3,926	melhorou	26,991	3,926	melhorou
<i>RDC</i> <i>H</i> = 0ms	39,852	0,564	Met Ident	35,217	0,082	Met Ident	33,650	0,876	Met Ident
<i>RDC</i> <i>H</i> = 10ms	40,841	-0,700	Met Ident	35,423	0,123	Met Ident	33,595	1,501	Met Ident
<i>RDC</i> <i>H</i> = 20ms	40,691	-0,476	Met Ident	35,466	0,006	Met Ident	33,650	1,159	Met Ident
<i>RDC</i> <i>H</i> = 30ms	40,749	-0,594	Met Ident	35,341	0,337	Met Ident	33,642	1,201	Met Ident

Com relação ao método de troca padrão do SCTP, quando comparado ao *PDC* mostra que sempre há melhora de qualidade. O que pode ser considerado como satisfatório. Houve uma melhora apontada por ambos os métodos de avaliação de qualidade SSIM, quanto o filme estava sendo transmitido entre caminhos *WIFI* e *CABO* na

tabela 4.13. Para os demais casos os métodos *PDC* e *RDC* apresentaram características idênticas na qualidade no vídeo transmitido.

Nas tabelas 4.15 e 4.16 estão os resultados das simulações realizadas com o vídeo *Star Wars* com a característica de haver movimentação moderada durante as cenas. Na tabela 4.15 estão os valores correspondentes ao método SSIM e na tabela 4.16 os valores de PSNR.

Tabela 4.15: Avaliação da qualidade SSIM na transmissão dos vídeo *Star Wars* movimentação moderada, com 30 amostras e 95% de confiança.

Método	SSIM CABOX3G			SSIM WIFIX3G			SSIM WIFIXCABO		
	Média	<i>t</i>	Teste <i>t</i> Student	Média	<i>t</i>	Teste <i>t</i> Student	Média	<i>t</i>	Teste <i>t</i> Student
<i>PDC</i>	0,987			0,983			0,974		
SCTP PADRÃO	0,976	2,803	melhorou	0,942	6,543	melhorou	0,931	5,195	melhorou
<i>RDC H = 0ms</i>	0,989	-0,914	idênticos	0,972	2,660	melhorou	0,972	0,792	idênticos
<i>RDC H = 10ms</i>	0,988	-0,457	idênticos	0,987	-1,096	idênticos	0,970	2,724	melhorou
<i>RDC H = 20ms</i>	0,987	-0,153	idênticos	0,961	2,804	melhorou	0,971	3,205	melhorou
<i>RDC H = 30ms</i>	0,988	-0,757	idênticos	0,967	2,423	melhorou	0,971	3,104	melhorou

Tabela 4.16: Avaliação da qualidade PSNR na transmissão dos vídeo *Star Wars* movimentação moderada, com 30 amostras e 95% de confiança.

Método	PSNR CABOX3G			PSNR WIFIX3G			PSNR WIFIXCABO		
	Média	<i>t</i>	Teste <i>t</i> Student	Média	<i>t</i>	Teste <i>t</i> Student	Média	<i>t</i>	Teste <i>t</i> Student
<i>PDC</i>	33,286			32,578			30,881		
STPC PADRAO	30,591	2,610	melhorou	25,696	5,332	melhorou	24,923	5,215	melhorou
<i>RDC H = 0ms</i>	34,113	0,916	idênticos	31,058	2,402	melhorou	30,131	2,401	melhorou
<i>RDC H = 10ms</i>	33,870	0,628	idênticos	33,677	0,921	idênticos	30,131	2,401	melhorou
<i>RDC H = 20ms</i>	33,422	0,203	idênticos	27,581	2,866	melhorou	30,234	2,366	melhorou
<i>RDC H = 30ms</i>	33,996	1,233	idênticos	28,674	2,979	melhorou	30,288	0,633	idênticos

Com relação ao método de troca padrão do SCTP, quando comparado ao *PDC* mostra que sempre há melhora de qualidade tanto na avaliação SSIM quanto no PSNR. Existem testes onde o método *PDC* é idêntico ao método *RDC*. Houve uma melhora muito significativa apontada por ambos os métodos de avaliação de qualidade SSIM ou PSNR, quanto o filme estava sendo transmitido e competindo entre caminhos *WIFIX3G* e *WIFIXCABO*.

Nas tabelas 4.17 e 4.18 estão os resultados das simulações realizadas com o vídeo *Akiyo* com a característica de haver baixa movimentação durante as cenas. Na tabela 4.17 estão os valores correspondentes ao método SSIM e na tabela 4.18 os valores de PSNR.

Foram feitas 50 transmissões do vídeo *Akiyo*, com diferentes latências ao nível de

Tabela 4.17: Avaliação da qualidade SSIM na transmissão dos vídeo Akiyo, com 50 amostras e 95% de confiança. (ASU, 2013)

Método	SSIM CABOX3G			SSIM WIFIX3G			SSIM WIFIXCABO		
	Média	<i>t</i>	Teste <i>t</i> Student	Média	<i>t</i>	Teste <i>t</i> Student	Média	<i>t</i>	Teste <i>t</i> Student
<i>PDC</i>	0,996			1,000			0,997		
SCTP PADRÃO	0,996	0,398	Met Ident	0,984	3,519	melhorou	0,980	3,519	melhorou
<i>RDC H = 0ms</i>	0,997	-1,053	Met Ident	0,997	1,881	Met Ident	0,996	1,558	Met Ident
<i>RDC H = 10ms</i>	0,997	-0,754	Met Ident	0,998	2,325	melhorou	0,993	2,924	melhorou
<i>RDC H = 20ms</i>	0,995	0,422	Met Ident	0,998	2,344	melhorou	0,992	4,672	melhorou
<i>RDC H = 30ms</i>	0,996	0,237	Met Ident	0,998	2,077	melhorou	0,666	7,717	melhorou

Tabela 4.18: Avaliação da qualidade PSNR na transmissão dos vídeo Akiyo, com 50 amostras e 95% de confiança. (ASU, 2013)

Método	PSNR CABOX3G			PSNR WIFIX3G			PSNR WIFIXCABO		
	Média	<i>t</i>	Teste <i>t</i> Student	Média	<i>t</i>	Teste <i>t</i> Student	Média	<i>t</i>	Teste <i>t</i> Student
<i>PDC</i>	37,690			49,323			43,739		
SCTP PADRÃO	35,945	0,940	Met Ident	30,906	2,767	melhorou	30,906	2,767	melhorou
<i>RDC H = 0ms</i>	43,281	-1,043	Met Ident	38,035	1,182	Met Ident	43,026	0,383	Met Ident
<i>RDC H = 10ms</i>	42,657	-0,981	Met Ident	43,865	2,186	melhorou	37,512	0,886	Met Ident
<i>RDC H = 20ms</i>	37,375	0,074	Met Ident	44,155	2,204	melhorou	36,327	1,239	Met Ident
<i>RDC H = 30ms</i>	37,516	0,040	Met Ident	44,822	1,926	Met Ident	33,358	1,158	Met Ident

significância $\alpha = 5\%$. Ou seja temos 95% de confiança nos resultados encontrados. No vídeo Akiyo, os resultados da tabela 4.17 aponta que 50% das simulações, o método *PDC* é tem a qualidade superior ao método *RDC*. Nos outros casos eles são idênticos. E com relação a mudança de caminho do SCTP padrão, houve melhora quando o vídeo estava sendo transmitido entre os *links WIFIXCABO* e *WIFIX3G*. Essa melhora foi acusada por ambos os métodos de avaliação de qualidade SSIM e PSNR.

O vídeo Akiyo é muito usado para testes pela comunidade acadêmica, mas por ser um filme de curta duração 12s, não tem tempo hábil para os algoritmos responderem e obterem resultados mais satisfatórios e convergentes.

Nas tabelas 4.19 e 4.20 estão os resultados das simulações realizadas com o vídeo Paris com a característica de haver baixa movimentação durante as cenas. O vídeo ocorre continuamente sem cortes de cena ou mudança de cenário.

Foram feitas 20 transmissões do vídeo Paris, com diferentes latências ao nível de significância $\alpha = 5\%$. Ou seja temos 95% de confiança nos resultados encontrados. Com relação ao método de troca padrão do SCTP, o *PDC* apresentou melhora de qualidade em todos os casos. Existem testes onde o método *PDC* é idêntico ao método *RDC* principalmente quando aplicado entre os *links CABOX3G*. Houve a melhora

Tabela 4.19: Avaliação da qualidade SSIM na transmissão dos vídeo Paris, com 20 amostras e 95% de confiança. (ASU, 2013)

Método	SSIM CABOX3G			SSIM WIFIX3G			SSIM WIFIXCABO		
	Média	<i>t</i>	Teste <i>t</i> Student	Média	<i>t</i>	Teste <i>t</i> Student	Média	<i>t</i>	Teste <i>t</i> Student
<i>PDC</i>	0,993			0,990			0,986		
STPC PADRAO	0,985	2,125	melhorou	0,952	3,953	melhorou	0,984	1,285	identicos
<i>RDC H = 0ms</i>	0,994	-0,566	identicos	0,982	2,293	melhorou	0,982	2,184	melhorou
<i>RDC H = 10ms</i>	0,993	-0,153	identicos	0,984	1,988	identicos	0,982	2,184	melhorou
<i>RDC H = 20ms</i>	0,993	0,167	identicos	0,984	2,017	identicos	0,983	1,875	identicos
<i>RDC H = 30ms</i>	0,994	-0,548	identicos	0,985	1,759	identicos	0,983	1,887	identicos

Tabela 4.20: Avaliação da qualidade PSNR na transmissão dos vídeo Paris, com 20 amostras e 95% de confiança. (ASU, 2013)

Método	PSNR CABOX3G			PSNR WIFIX3G			PSNR WIFIXCABO		
	Média	<i>t</i>	Teste <i>t</i> Student	Média	<i>t</i>	Teste <i>t</i> Student	Média	<i>t</i>	Teste <i>t</i> Student
<i>PDC</i>	35,909			35,512			32,099		
STPC PADRAO	32,545	2,253	melhorou	27,317	3,832	melhorou	31,194	1,366	identicos
<i>RDC H = 0ms</i>	37,829	-1,859	identicos	32,271	2,351	melhorou	30,602	2,382	melhorou
<i>RDC H = 10ms</i>	37,048	-2,068	identicos	33,065	2,130	melhorou	30,602	2,382	melhorou
<i>RDC H = 20ms</i>	36,598	-2,055	identicos	33,014	2,173	melhorou	30,652	2,074	identicos
<i>RDC H = 30ms</i>	37,175	-1,653	identicos	33,188	1,931	identicos	30,599	2,061	identicos

apontada por ambos os métodos de avaliação de qualidade SSIM ou PSNR, quanto o vídeo Paris estava sendo transmitido entre caminhos *WIFIXCABO* e *WIFIX3G*.

As tabelas 4.21 e 4.22 apresentam os resultados das simulações realizadas com o vídeo *highway* com a característica de alta movimentação durante as cenas. O vídeo ocorre continuamente sem cortes de cena, porém o cenário ao fundo está em constante mudança. Na tabela 4.21 estão os valores correspondentes ao método SSIM e na tabela 4.22 os valores de qualidade do vídeo em PSNR.

Tabela 4.21: Avaliação da qualidade SSIM na transmissão dos vídeo *highway*, com 40 simulações e 95% de confiança. (ASU, 2013)

Método	SSIM CABOX3G			SSIM WIFIX3G			SSIM WIFIXCABO		
	Média	<i>t</i>	Teste <i>t</i> Student	Média	<i>t</i>	Teste <i>t</i> Student	Média	<i>t</i>	Teste <i>t</i> Student
<i>PDC</i>	0,973			0,971			0,956		
SCTP PADRÃO	0,955	2,822	melhorou	0,938	4,808	melhorou	0,938	4,808	melhorou
<i>RDC H = 0ms</i>	0,979	-1,646	Met Ident	0,966	1,350	Met Ident	0,956	0,234	Met Ident
<i>RDC H = 10ms</i>	0,980	-1,750	Met Ident	0,966	1,343	Met Ident	0,955	0,330	Met Ident
<i>RDC H = 20ms</i>	0,979	-1,654	Met Ident	0,966	1,385	Met Ident	0,955	0,546	Met Ident
<i>RDC H = 30ms</i>	0,980	-1,710	Met Ident	0,968	1,052	Met Ident	0,955	0,403	Met Ident

Foram feitas 40 transmissões do vídeo *highway*, com diferentes latências ao nível de significância $\alpha = 5\%$. Ou seja temos 95% de confiança nos resultados encontrados. Com relação ao método de troca padrão do SCTP, o *PDC* apresentou melhora de qualidade em todos os casos, essa melhora foi apontada pelos métodos de avaliação qualidade SSIM e PSNR. Os métodos *PDC* e *RDC* apresentaram resultados que

Tabela 4.22: Avaliação da qualidade PSNR na transmissão dos vídeo *highway*, com 40 simulações e 95% de confiança. (ASU, 2013)

Método	PSNR CABOX3G			PSNR WIFIX3G			PSNR WIFIXCABO		
	Média	<i>t</i>	Teste <i>t</i> Student	Média	<i>t</i>	Teste <i>t</i> Student	Média	<i>t</i>	Teste <i>t</i> Student
<i>PDC</i>	32,341			32,593			31,082		
SCTP PADRÃO	30,059	2,805	melhorou	26,687	3,864	melhorou	26,687	3,864	melhorou
<i>RDC H = 0ms</i>	33,934	-1,827	Met Ident	31,411	1,196	Met Ident	30,534	0,858	Met Ident
<i>RDC H = 10ms</i>	34,141	-1,964	Met Ident	31,420	1,190	Met Ident	30,463	0,920	Met Ident
<i>RDC H = 20ms</i>	34,080	-1,548	Met Ident	31,339	1,225	Met Ident	30,004	1,471	Met Ident
<i>RDC H = 30ms</i>	34,197	-1,622	Met Ident	31,516	1,051	Met Ident	30,044	1,490	Met Ident

apontam serem idênticos.

Os resultados apresentados nas tabelas 4.23 e 4.24 foram realizados com o vídeo *highway-footbridge-1*, com a característica de haver baixa movimentação durante as cenas, ocorre continuamente sem cortes de cena ou mudança de cenário. A diferença entre esse vídeo com relação aos outros é sua geometria de 680x480 pixels.

Tabela 4.23: Avaliação da qualidade SSIM na transmissão dos vídeo *highway-footbridge-1*, com 20 simulações e 95% de confiança. (UFPR, 2013)

Método	SSIM CABOX3G			SSIM WIFIX3G			SSIM WIFIXCABO		
	Média	<i>t</i>	Teste <i>t</i> Student	Média	<i>t</i>	Teste <i>t</i> Student	Média	<i>t</i>	Teste <i>t</i> Student
<i>PDC</i>	0,990			0,965			0,981		
STPC PADRAO	0,915	2,005	idênticos	0,883	2,344	melhorou	0,883	2,475	melhorou
<i>RDC H = 0ms</i>	0,992	-0,890	idênticos	0,958	2,317	melhorou	0,955	1,085	idênticos
<i>RDC H = 10ms</i>	0,967	0,963	idênticos	0,958	2,215	melhorou	0,955	1,085	idênticos
<i>RDC H = 20ms</i>	0,968	0,951	idênticos	0,959	1,990	idênticos	0,956	1,056	idênticos
<i>RDC H = 30ms</i>	0,968	0,924	idênticos	0,981	-0,743	idênticos	0,956	1,047	idênticos

Tabela 4.24: Avaliação da qualidade PSNR na transmissão dos vídeo *highway-footbridge-1*, com 20 simulações e 95% de confiança. (UFPR, 2013)

Método	PSNR CABOX3G			PSNR WIFIX3G			PSNR WIFIXCABO		
	Média	<i>t</i>	Teste <i>t</i> Student	Média	<i>t</i>	Teste <i>t</i> Student	Média	<i>t</i>	Teste <i>t</i> Student
<i>PDC</i>	5,423			25,083			30,973		
STPC PADRAO	7,555	-0,856	idênticos	20,143	2,130	melhorou	20,143	2,295	melhorou
<i>RDC H = 0ms</i>	7,963	-1,614	idênticos	24,633	1,332	idênticos	25,527	1,052	idênticos
<i>RDC H = 10ms</i>	8,993	-1,175	idênticos	24,652	2,505	melhorou	25,527	1,052	idênticos
<i>RDC H = 20ms</i>	8,758	-1,264	idênticos	24,702	2,292	melhorou	25,484	1,042	idênticos
<i>RDC H = 30ms</i>	11,329	-1,930	idênticos	30,973	-0,903	idênticos	25,625	1,042	idênticos

Na tabela 4.23 estão os valores correspondentes ao método SSIM e na tabela 4.24 os valores de PSNR. Foram feitas 20 transmissões do vídeo *highway-footbridge-1*, com diferentes latências ao nível de significância $\alpha = 5\%$. Ou seja temos 95% de confiança nos resultados encontrados. Com relação ao método de troca padrão do SCTP, o *PDC* apresentou melhora de qualidade, no caso dos *links* WIFIX3G.

Para o vídeo *highway-footbridge-1*, o *PDC* também teve melhora no caso da trans-

missão Wifix3G. Nos outros casos, a qualidade na transmissão ficou idêntica ao método RDC.

Finalizando, as tabelas 4.25 apresentam resultados obtidos com o vídeo *football*, com a característica de haver alta movimentação durante as cenas. Este vídeo tem duração de 12s e ocorre continuamente sem cortes de cena ou mudança de cenário de fundo. Na tabela 4.25 estão os valores correspondentes ao método SSIM e na tabela 4.26 os valores de PSNR.

Tabela 4.25: Avaliação da qualidade SSIM na transmissão dos vídeo *football*, com 40 simulações e 95% de confiança. (ASU, 2013)

Método	SSIM CABOX3G			SSIM WIFIX3G			SSIM WIFIXCABO		
	Média	<i>t</i>	Teste <i>t</i> Student	Média	<i>t</i>	Teste <i>t</i> Student	Média	<i>t</i>	Teste <i>t</i> Student
<i>PDC</i>	0,948			1,000			0,922		
SCTP PADRÃO	0,928	0,790	Met Ident	0,787	5,445	melhorou	0,734	5,445	melhorou
<i>RDC H = 0ms</i>	0,964	-1,453	Met Ident	0,969	0,524	Met Ident	0,891	1,868	Met Ident
<i>RDC H = 10ms</i>	0,964	-1,453	Met Ident	0,960	1,057	Met Ident	0,844	3,340	melhorou
<i>RDC H = 20ms</i>	0,945	0,227	Met Ident	0,960	1,045	Met Ident	0,843	3,357	melhorou
<i>RDC H = 30ms</i>	0,946	0,161	Met Ident	0,960	1,075	Met Ident	0,850	3,295	melhorou

Tabela 4.26: Avaliação da qualidade PSNR na transmissão dos vídeo *football*, com 40 simulações e 95% de confiança. (ASU, 2013)

Método	PSNR CABOX3G			PSNR WIFIX3G			PSNR WIFIXCABO		
	Média	<i>t</i>	Teste <i>t</i> Student	Média	<i>t</i>	Teste <i>t</i> Student	Média	<i>t</i>	Teste <i>t</i> Student
<i>PDC</i>	28,045			31,661			27,829		
SCTP PADRÃO	26,636	0,851	Met Ident	21,732	5,531	melhorou	21,732	5,531	melhorou
<i>RDC H = 0ms</i>	29,465	-1,333	Met Ident	30,589	0,394	Met Ident	27,110	0,429	Met Ident
<i>RDC H = 10ms</i>	29,465	-1,333	Met Ident	29,527	1,184	Met Ident	25,592	1,263	Met Ident
<i>RDC H = 20ms</i>	27,746	0,283	Met Ident	29,557	1,161	Met Ident	25,572	1,262	Met Ident
<i>RDC H = 30ms</i>	27,809	0,221	Met Ident	29,439	1,236	Met Ident	25,718	1,207	Met Ident

Foram feitas 40 transmissões do vídeo *football*, com diferentes latências ao nível de significância $\alpha = 5\%$. Ou seja temos 95% de confiança nos resultados encontrados.

Com relação ao método de troca padrão do SCTP, nos casos WIFIX3G e WIFIXCABO, o *PDC* apresentou melhora de qualidade tanto para o SSIM quanto para o PSNR.

Quando é utilizado o método de avaliação de qualidade SSIM, o método de troca de caminho *PDC* obtém melhores respostas com relação a todas as outras variações do *RDC*, na transmissão WIFIXCABO. Com relação ao método de avaliação de qualidade PSNR, há um indicativo de que se fossem aumentadas as quantidades de

amostras, existiria uma convergência do método troca de caminhos *PDC* com relação aos variações do método *RDC*.

CAPÍTULO 5

CONCLUSÕES E TRABALHOS FUTUROS

Uma das principais características do protocolo SCTP é a capacidade de suportar sistemas multi-abrigados, onde o usuário possui mais de um enlace para acesso à Internet. O método padrão para seleção de caminho no SCTP utiliza como critério o número de pacotes perdidos.

O uso de métodos baseados em atraso como critério de troca de caminho primário pode beneficiar aplicações de tempo real, como a transmissão de vídeo. Nesta dissertação, sugerimos o uso do método *PDC* para realizar previsões de aumento da latência e tomar a decisão de troca de caminho antes que o possível aumento de atraso provoque problemas de qualidade na reprodução do vídeo. Foram coletados dados de atraso em redes de acesso reais, com tecnologias Wifi, ADSL e 3G. Foram realizadas simulações de transmissão de vídeos disponíveis publicamente e a qualidade da reprodução foi estimada utilizando os métodos PSNR e SSIM.

Essas simulações e avaliação de transmissões demandam um custo computacional elevado, esse é um dos motivos pelo qual a duração máxima do maior vídeo é de 120s. Quando contabilizado o tempo de transmissão, soma da latência de cada método utilizado, remontagem do vídeo e avaliação de qualidade de cada vídeo, obteve-se o tempo de 17 dias ininterruptos de simulações com dois computadores em funcionamento. Esse tempo foi elevado, também pela quantidade de vídeos, características dos vídeos como a movimentação ou dimensão, e quantidade de simulações por vídeo para termos um intervalo de confiança adequado.

Os resultados indicam que o uso do método *PDC* melhora a qualidade percebida pelo usuário, principalmente nos *links Wifix3G* e *WifixCABO*. O uso deste método apresenta vantagens quando comparado aos métodos baseados em atraso disponíveis.

veis na literatura.

No vídeo *Jurassic* houve melhora na qualidade com o método PDC em 13 dos 30 casos avaliados. Na transmissão do vídeo *Silence* houve à melhora de 5 dos 30 caso avaliados. No vídeo *Star Wars* com alta movimentação tabela 4.11 e 4.12, houve melhora em 16 casos avaliados. Já para o vídeo *Star Wars_1* com baixa movimentação houve melhora de 9 dos casos avaliados. Para o vídeo Akiyo, houve a melhora de 2 casos em 20 avaliados. No vídeo Paris, foram 12 casos em 20 que obtiveram a melhor qualidade na transmissão. A transmissão do vídeo *Hihgway*, apresentou melhora em 1 dos casos avaliados. Para o vídeo *highway-footbridge1*, foram demonstrados que houve melhora em 8 dos casos avaliados. E finalizando, para o vídeo *football* houve melhora em 8 dos 20 casos avaliados.

O método *PDC* demonstrou que apresenta melhora na qualidade na transmissão de vídeos em sistemas multi-abrigados, e nos piores casos, apresenta desempenho equivalente aos métodos disponíveis atualmente. O custo computacional pode ser considerado baixo, pois armazena apenas dois valores antigos de *SRTT* para realizar a suavização exponencial.

Caso um grande número de usuários utilize este método, a troca de caminho frequente pode provocar instabilidade nas redes de acesso. O estudo deste problema é um interessante tópico de pesquisa futura.

A aplicação do *PR-SCTP* com retransmissão de alguns pacotes em conjunto com o método *PDC* é um caso que pode ser estudado também, pois sendo aplicados simultaneamente na transmissão de vídeo, pode vir a obter a melhora ainda mais acentuada na qualidade.

BIBLIOGRAFIA

APPEL, . G. **Technical Analysis Power Tools for Active Investors**. [S.l.]: Financial Times Prentice Hall, 1999.

ASU. **Video Trace Library**. 2013. Arizona State University. Online, acesso em julho de 2013. Disponível em: <<http://trace.eas.asu.edu/>>.

BARBETTA, M. M. e. A. C. B. P. A. **Estatística para cursos de Engenharia e Informática**. [S.l.: s.n.], 2004.

CHEN, J. J.-M. M. M. et al. Improving sctp performance by jitter-based congestion control over wired-wireless networks. **EURASIP J. Wireless Comm. and Networking**, p. –1–1, 2011.

DSL-FORUM. **Triple-play Services Quality of Experience (QoE) Requirements**. December 2006. Digital Subscriber Line Forum (DSL) TR-126. On-line: <http://www.broadband-forum.org/technical/download/TR-126.pdf>.

ESKICIOGLU, A.; FISHER, P. Image quality measures and their performance. **Communications, IEEE Transactions on**, v. 43, n. 12, p. 2959–2965, 1995. ISSN 0090-6778.

FCC (Ed.). **Measuring Broadband America**. February 2013. A Report on Consumer Wireline Broadband Performance in the U.S. - Federal Communications Commission / State of U.S. Broadband. On-line: <http://www.fcc.gov/measuring-broadband-america/2013/February>. Disponível em: <<http://www.fcc.gov/measuring-broadband-america/2013/February>>.

FITZPATRICK, J.; MURPHY, S.; MURPHY, J. An approach to transport layer handover of voip over wlan. In: **Consumer Communications and Networking Conference, 2006. CCNC 2006. 3rd IEEE**. [S.l.: s.n.], 2006. v. 2, p. 1093–1097.

FORUM, D. (Ed.). **Triple-play Services Quality of Experience (QoE) Requirements**. december 2006. Technical Report TR-126. On-line: <http://www.broadband-forum.org/technical/download/TR-126.pdf>.

FRACCHIA, R. et al. Wise: Best-path selection in wireless multihoming environments. **IEEE Transactions on Mobile Computing**, v. 6, n. 10, p. 1130–1141, 2007. ISSN 1536-1233.

GAVRILOFF, I.; RIBEIRO, E. P. Selecao de caminho baseada em atraso para sistemas multi-abrigados usando SCTP. In: **Simposio Brasileiro de Telecomunicacoes (SBRT08)**. [S.l.: s.n.], 2008. Rio de Janeiro.

HASSLINGER, G.; HOHLFELD, O. The gilbert-elliott model for packet loss in real time services on the internet. In: **Measuring, Modelling and Evaluation of Computer and Communication Systems (MMB), 2008 14th GI/ITG Conference -**. [S.l.: s.n.], 2008. p. 1–15.

ITU (Ed.). **International Telecommunication Union**. march 2003. Mean Opinion Score (MOS) terminology. Disponível em: <<http://www.itu.int/rec/T-REC-P.800.1-200303-S/en>>.

ITU-T (Ed.). **ISO/IEC 14496-10:2003**. September 2004. Information technology - Coding of audio-visual objects - Part 10: Advanced Video Coding.

ITU-T. **RECOMMENDATION ITU-R BT.1788**. January 2007. Methodology for the subjective assessment of video quality in multimedia applications.

_____. **Recommendation ITU-T P.910**. April 2007. Subjective video quality assessment methods for multimedia applications.

JR PAUL D. AMER, R. R. S. C. Retransmission policies for multihomed transport protocols. **Computer Communications**, v. 29, n. 10, p. 1798 – 1810, 2006. ISSN 0140-3664. Monitoring and Measurements of IP Networks. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0140366405003944>>.

KASHIHARA, S. et al. Path selection using active measurement in multi-homed wireless networks. In: **International Symposium on Applications and the Internet, 2004**. [S.l.: s.n.], 2004. p. 273–276.

KELLY, A. et al. Delay-centric handover in sctp over wlan. **Transactions on AUTOMATIC CONTROL and COMPUTER SCIENCE**, v. 49, n. 63, 2004.

KLAUE, J.; RATHKE, B.; WOLISZ, A. Evalvid - a framework for video transmission and quality evaluation. In: **Proceedings of the 13th International Conference on Modelling Techniques and Tools for Computer Performance Evaluation**. [s.n.], 2003. p. 255–272. Disponível em: <<http://www2.tkn.tu-berlin.de/research/evalvid/>>.

KLINKER, F. Exponential moving average versus moving exponential average. **Mathematische Semesterberichte**, Springer-Verlag, v. 58, n. 1, p. 97–107, 2011. ISSN 0720-728X. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1007/s00591-010-0080-8>>.

KUMAR, B. et al. Mos prediction of spiht medical images using objective quality parameters. In: **2009 International Conference on Signal Processing Systems**. [S.l.: s.n.], 2009. p. 219–223.

MAISONNEUVE, J. et al. An overview of IPTV standards development. **IEEE Transactions on Broadcasting**, v. 55, n. 2, p. 315–328, June 2009.

MARPE, D.; WIEGAND, T.; SULLIVAN, G. The h.264/mpeg4 advanced video coding standard and its applications. **Communications Magazine, IEEE**, v. 44, n. 8, p. 134–143, 2006. ISSN 0163-6804.

MARQUES, F. et al. Maximisation of investment profits: An approach to macd based on genetic algorithms and fuzzy logic. In: **Evolutionary Computation (CEC), 2010 IEEE Congress on**. [S.l.: s.n.], 2010. p. 1–7.

PR-SCTP Stream Control Transmission Protocol (SCTP) Partial Reliability Extension (RFC 3758). September 2004. Disponível em: <<http://www.ietf.org/rfc/rfc3758.txt>>.

RÜNCOS, R. A. E. **Desempenho do SCTP em terminais multi-abrigados para transporte de tráfego VoIP em cenários com perdas**. fevereiro 2011. Dissertação de Mestrado. Pós Graduação em Engenharia Elétrica. Universidade Federal do Paraná.

SANSON, H. et al. Pr-sctp for real time h.264/avc video streaming. In: **Advanced Communication Technology (ICACT), 2010 The 12th International Conference on**. [S.l.: s.n.], 2010. v. 1, p. 59–63. ISSN 1738-9445.

SERRAL-GRACIA, R. et al. An overview of quality of experience measurement challenges for video applications in ip networks. In: **Proceedings of the 8th International Conference on Wired/Wireless Internet Communications**. Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag, 2010. (WWIC'10), p. 252–263. ISBN 3-642-13314-2, 978-3-642-13314-5.

SILPA, K.; MASTANI, A. Comparison of image quality metrics. **International Journal of Engineering Research and Technology (IJERT)**, v. 1, n. 4, p. 1–5, 2012.

STEWART, R. **Stream control transmission protocol SCTP PROPOSED STANDARD (RFC 4960)**. September 2007. Disponível em: <<http://tools.ietf.org/html/rfc4960>>.

STEWART R., A.-R. I. P. K. . C. A. **Stream control transmission protocol (SCTP) specification errata and issues (RFC 4460)**. April 2006. Disponível em: <www.rfc-editor.org/rfc/rfc4460.txt>.

SUHAIL, G. A.; SUBBER, S. A. Robust network fec-embedded video transmission over error-prone wireless channels. **International Journal of Wireless & Mobile Networks**, v. 4, n. 3, p. 37 – 50, 2012. ISSN 09754679.

UFPR. **Videos YUV**. 2013. Universidade Federal do Paraná. Online: <http://laplace.eletrica.ufpr.br/projeto-cnpq-vale-formaengenharia.html>, acesso em julho de 2013. Disponível em: <<http://laplace.eletrica.ufpr.br/projeto-cnpq-vale-formaengenharia.html>>.

WALLACE, T.; SHAMI, A. A review of multihoming issues using the stream control transmission protocol. **Communications Surveys & Tutorials, IEEE**, v. 14, n. 2, p. 565–578, 2012. ISSN 1553-877X.

WANG, Z. et al. Image quality assessment: from error visibility to structural similarity. **IEEE Transactions on Image Processing**, v. 13, n. 4, p. 600–612, 2004.

WIEGAND, T.; NOBLET, L.; ROVATI, F. Scalable video coding for iptv services. **Broadcasting, IEEE Transactions on**, v. 55, n. 2, p. 527–538, June 2009. ISSN 0018-9316.

WINKLER, S. On the properties of subjective ratings in video quality experiments. In: **Quality of Multimedia Experience, 2009. QoMEX 2009. International Workshop on**. [S.l.: s.n.], 2009. p. 139–144.

XU, C. et al. Analysis of real-time multimedia transmission over pr-sctp with failover detection delay and reliability level differential. In: **Communication Software and Networks, 2009. ICCSN '09. International Conference on**. [S.l.: s.n.], 2009. p. 768–772.

XU, J. et al. On the properties of mean opinion scores for quality of experience management. In: **Multimedia (ISM), 2011 IEEE International Symposium on**. [S.l.: s.n.], 2011. p. 500–505.

YAN, H. et al. Path selection based on single direction delay difference. In: **Wireless Communications, Networking and Mobile Computing (WiCOM), 2011 7th International Conference on**. [S.l.: s.n.], 2011. p. 1–4. ISSN 2161-9646.

ZATT, B. et al. Gop structure adaptive to the video content for efficient h.264/avc encoding. In: **Image Processing (ICIP), 2010 17th IEEE International Conference on**. [S.l.: s.n.], 2010. p. 3053–3056. ISSN 1522-4880.

ZHANG, X.; HASSANEIN, H. A survey of peer-to-peer live video streaming schemes – an algorithmic perspective. **Computer Networks**,

v. 56, n. 15, p. 3548 – 3579, 2012. ISSN 1389-1286. Disponível em:
<<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1389128612002393>>.